

## **3D-mallinnus kameralla kuvatuista kuvista**

Mallinnuksen käsittely pelimoottoria varten



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK, Tieto- ja viestintäteknikan insinööri

Kevät 2018

Jari-Pekka Halttunen

Information and communication technologies  
University of Applied Sciences Riihimäki

---

<b>Author</b>	Jari-Pekka Halttunen	<b>Year</b> 2018
<b>Subject</b>	3D model from reality photographs	
<b>Supervisors</b>	Antti Laakso	

---

#### ABSTRACT

The Thesis was assigned by the Finnish Hunting Museum. The aim of a thesis was to learn how to create a 3D object by modeling the images. To create a model, a basic understanding of photogrammetry is needed. The idea of the model is that it is used in a game engine, so it is important that the model has a low polygon level with sharp textures of its material. The thesis deals with a work process that begins with taking photos of the training, what descriptions of exercises is learned and an explanation of how quality can be improved in the outcome.

The functional part of the thesis reviews the work steps, goes through the work steps, the camera settings and the reasons of each setting. Work tools for creating objects and post-processing of a 3D model.

The result of the project was a low polygon level spear that can be transferred to a game engine for use. In addition, the challenge was to combine the objects created by photogrammetry and manual modeling. The supplement to the thesis was to create a model of a room inside the museum, called a trophy room. The aim was also to consider how the modeling of the room could be further elaborated for later use by the museum.

The thesis includes examples of 3D modeling for other museums, suitable for exhibiting similar decorative objects, just as the 3D models in the museum's trophy room.

**Keywords** Photogrammetry, photographs, model

**Pages** 50 pages

Tieto- ja viestintätekniikan insinööri  
Hämeen ammattikorkeakoulu Riihimäki

---

<b>Tekijä</b>	Jari-Pekka Halttunen	<b>Vuosi 2018</b>
<b>Työn nimi</b>	3D mallinnus kameralla kuvatuista kuvista	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Antti Laakso	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Suomen Metsästysmuseum. Opinnäytetyön tavoite oli, oppia luomaan 3D-objekti kuvista mallintamalla. Mallin luomiseen tarvitaan perusymmärrys fotogrammetriasta. Mallin ideana on, että sitä käytetään pelimootorissa, siksi on tärkeää, että malli on polygonitasoltaan alhainen ja materiaaliltaan terävälaatuinen. Opinnäytetyössä käydään läpi työprosessi, joka alkaa kuvien ottamisen harjoittelusta. Kuvausharjoituksissa opitun perusteella selvitetään, kuinka lopputuloksen laatua voidaan parantaa.

Opinnäytetyön toiminnallisessa osuudessa käydään läpi työvaiheet, käsitellään kameran asetuksia ja syitä kuhunkin asetuksen valintaan. Esitellään työkalut objektien luomiseen ja 3D-mallin jälkikäsitteily.

Projektin lopullisena tuloksena oli alhaisen polygonitason keihäs, joka on siirrettävissä pelimootoriin käytettäväksi. Lisäksi haasteena oli yhdistää fotogrammetrialla ja käsin mallintamalla tehdyt objektit toisiinsa. Opinnäytetyön lisäosa on mallinnus museon sisällä olevasta huoneesta, jota kutsutaan trofeehuoneeksi. Pyrkimys oli myös pohtia, kuinka huoneen mallinnusta voitaisiin jatkojalostaa museon käytettäväksi myöhemmin.

Opinnäytetyö sisältää esimerkkejä muille museoille tehdyistä 3D-mallinuksista, kohteista jotka soveltuvat esittelemään vastaavia kuvattavia kohteita, kuin museon trofeehuoneesta tehty 3D-mallinnus.

**Avainsanat** Fotogrammetria, valokuvaus, mallinnus

**Sivut** 50 sivua

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	6
2. PROJEKTIN TAVOITE .....	7
3. TEORIA .....	7
1.1 Määritelmä.....	8
1.2 Periaatteet.....	8
1.3 Valo.....	9
4. KUVIEN OTTAMINEN .....	10
1.4 Raakakuvat eli CR2 ja sen kääntäminen JPEG muotoon .....	10
1.5 Tekniikka.....	11
1.6 Tekniikan harjoittelu .....	14
1.7 CR2 ja JPEG kuvien vertailu mallintaessa .....	16
5. OHJELMAT .....	17
1.8 Autodesk Recap Photo .....	17
1.9 3ds Max .....	17
1.9.1 UV unwrapping 3ds Maxissa .....	18
1.10 Adobe Photoshop CC.....	18
1.11 RealityCapture.....	19
1.11.1 Wavefront OBJ.....	19
6. HUONEEN MALLINNUS.....	19
1.12 Kuvaus menettelytavat .....	19
1.13 Kuvaus kulmat .....	20
7. KEIHÄSPROJEKTIN KÄYTÄNTÖ .....	23
1.14 Mallin kuvaus .....	23
1.15 Mallin luominen kuvista.....	24
1.16 Mallin tarpeettomien osien siistiminen .....	24
1.17 Re-topology .....	25
1.18 Materiaali .....	27
1.19 Fotogrammetrian ja käsin mallintamisen avulla luotujen objektien liittäminen yhteen.....	29
1.20 Unwrap UVW.....	29
1.21 Keihään pohjan materiaalisointi .....	33
8. SUOMEN METSÄSTYSMUSEON TROFEEHUONE -PROJEKTIN KÄYTÄNTÖ.....	35
1.22 Valaisu ja valkotasapaino .....	36
1.23 Huoneen kuvaaminen .....	37
1.24 Huoneen mallintaminen.....	37
1.25 Rekonstruktio .....	38

	5
1.26 Yksinkertaistus ja materiaalisointi .....	40
9. TEHTYJÄ 3D MALLINNUS PROJEKTEJA MUSEOILLE .....	42
1.27 Smithsonian 3D skannaukset Inka Stoneworksissa .....	42
1.28 Hintze Hall, NHM London [surface model] .....	43
10. YHTEENVETO .....	45
LÄHTEET .....	47

## 1. JOHDANTO

Mallinnustyö tehdään Suomen Metsästysmuseolle. Tarkoitus on hyödyntää fotogrammetria tekniikkaa, jotta saadaan mahdollisimman aito malli korroosion muokkaamasta keihästä. Itse keihään varsi mallinnetaan jälkikäteen. Työssä hyödynnetään kahta tapaa tehdä: manuaalisesti ja kuvasta mallintamalla. Täten voidaan todeta, että kaksi eri lailla toteutettua työtä voidaan liittää toisiinsa mutkattomasti.

Fotogrammetria on usean kuvan tulos, tyypillisesti ne ovat karttoja, piirustuksia tai mittauksia, mutta tekniikkaa käytetään usein myös 3D-mallinnukseen. Yleensä se on jonkin tyyppinen todellisuus maailmaan tai maisema. Kartat nykypäivä tehdään lähes poikkeuksetta käyttäen fotogrammetria tekniikkaa ja kuvat otetaan lentokoneesta.(Photogrammetry, n.d)

Fotogrammetria käyttää tiedettä tehdessään mittauksia otetuista kuvista, palauttaen tarkat paikat pinnan pisteistä. Tehdäkseen näin, se aloittaa suuren nopeuden kuvantamisen, kaukokartoituksen tunnistamisen, mittauksen ja tallentaen nämä monimutkaiset 2D- ja 3D-liikealat. (McCue, 2016)

Fotogrammetria on sekoitus taidetta ja tiedettä, yhtäläisyydet kuvien materiaalien pisteissä saavutetaan kuvien osittaisella päällekkäisyydellä. Toisin kuin voisi luulla, tekniikka ei suinkaan ole uusi, vaan todellisuudessa se on ollut olemassa jo vuosisadan. Lähiaikoina siitä on tullut yhä suosituampi menetelmä, mikä mahdollistaa enemmän vaihtoehtoja laitteissa ja ohjelmistoissa. (Crawford, 2015)

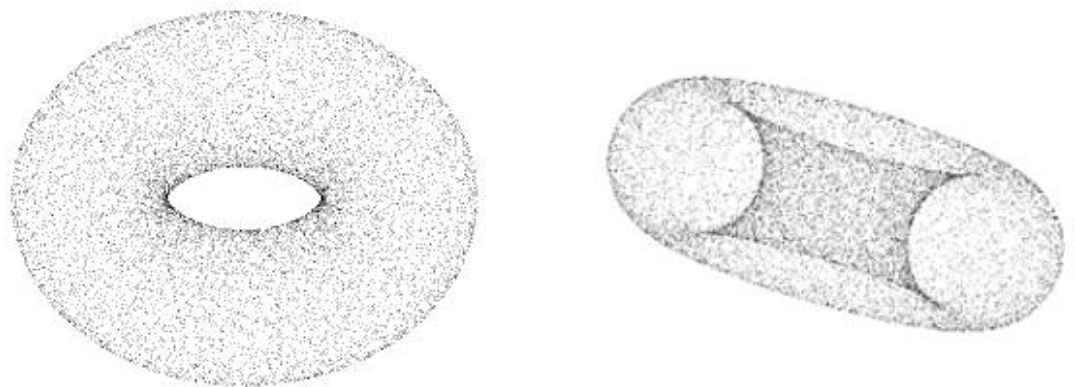
Hyötynä skannattaessa historiallista esinettä fotogrammetrian avulla on, ettei itse esineeseen ole tarvetta koskea. Esine on ruostunut, joten kiiltävyys esineessä on pientä, kiiltävyys aiheuttaa mallintaessa reikäisyyttä, koska algoritmit lukevat kiiltävät paikat reikinä.

## 2. PROJEKTIN TAVOITE

Tarkoitus on luoda 3D-mallinnus ja alentaa polygoni taso alhaiseksi, pelimoottorissa käytettäväksi. Tarkoitus on käyttää mallia myöhemmin yhtenä osana esitystä, jossa käytetään virtuaalilaseja. Materiaalit luodaan uudestaan alhaisen polygoni tason malliin ja mahdollisia kappaleen muodon virheitä parannellaan muovaustyökalua käyttämällä. Materiaalin värejä ja virheitä voidaan korjata Photoshop ohjelmalla.

## 3. TEORIA

Fotogrammetria toimii ottamalla kuvia samasta objektista, luoden päällekkäisyyksiä kuvasta toiseen. Tässä päällekkäisyyden kohdassa tietokone ohjelma voi löytää yhtäläisyyden pisteet materiaalissa. Löydettyään yhtäläisyyden, se luo kameroiden välille suhteen. Tämä tarkoittaa sitä, että se voi nopeasti päätellä missä tilan paikassa, juuri kyseinen kuva on otettu. Raakatieto ryhmät ovat melko yksikertaisia, raakatiedoista puhuttaessa tarkoitetaan listaa X, Y, Z koordinaatistosta, joita voi lukea esimerkiksi Excel taulukkolaskentaohjelmalla, tai vaikka Word dokumentissa. Sieltä data prosessoidaan ja se digitaalinen esitys, on periaatteessa datapisteiden sijoitus tilassa (kuva 1). Tämä tarkoittaa miljoonia pisteitä jotka määrittelevät objektin pinnan. Seuraava askel työkulussa olisi yhdistää pisteet näiden kaikkien paikkojen välillä, ja luoda polygoni malli. (Smithsonian X 3D, 2013)



*Kuva 1. Datapisteiden sijoitus tilassa (VB, n.d.a)*

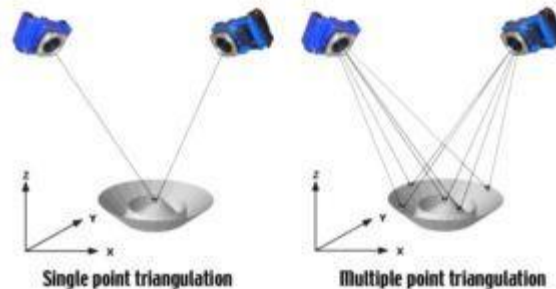
## 1.1 Määritelmä

Nimi photogrammetry, tulee Kreikan sanoista photos, mikä tarkoittaa valoa, gramma taas tarkoittaa piirrettyä tai kirjoitettua ja metron tarkoittaa mittausta. Alkuperäinen tarkoitus tälle oli valon graafinen määrittäminen. (Reed Business, 2007)

## 1.2 Periaatteet

Sijainti missä tahansa pisteessä voidaan määrittellä kahdella X (leveys) ja Y (korkeus) koordinaatilla. Kuvat ovat vain kaksi ulotteisia. Todellisen maailman sijainti koordinaatistossa määritellään x, y, z (pituus), todellinen maailma on kolme ulotteinen. (ADAM Technology, 2009.)

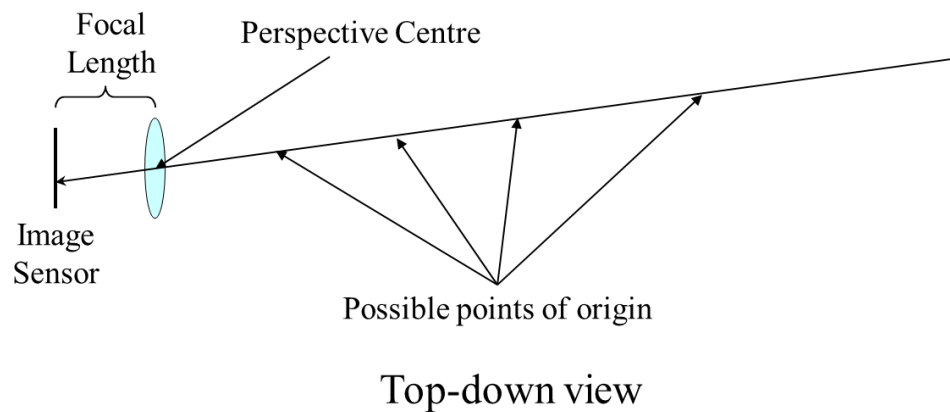
Tärkeimpiä periaatteita fotogrammetriassa on triangulaatio (kuva 2). Kuvia otetaan vähintään kahdesta eri sijainnista, jolla luodaan niin sanottu näkölinja. Ne luodaan kunkin kameran sijainnista kohteen pisteisiin. Näitä näkölinjoja, joita joskus kutsutaan myös säteiksi optisen luonteensa vuoksi, leikkaantuvat matemaattisesti tuottamaan kohteen kiinnostavat kolmiulotteiset koordinaatit. (Upadhyay, gisresources, 2014b)



Kuva 2. Yhden ja useamman triangulaatio pisteen kuvaus (Upadhyay, Author and Admin @ GIS Resources, 2014a)

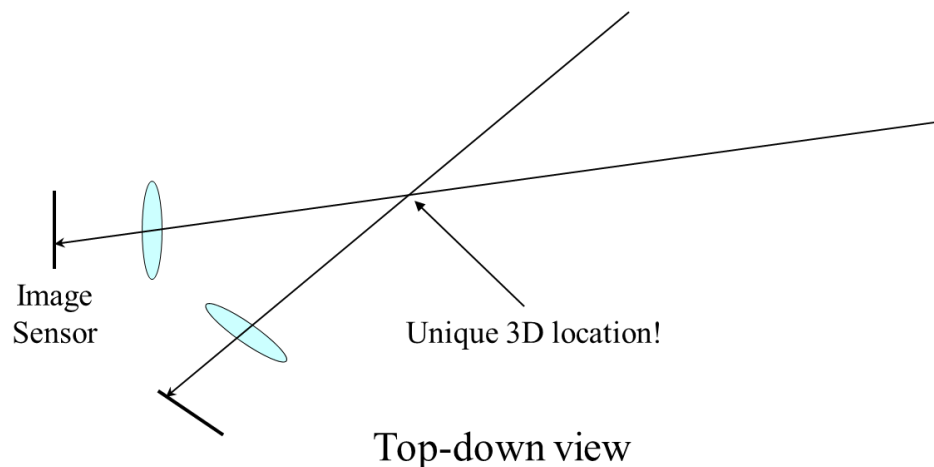


### 1.3 Valo



*Kuva 3. Valaistus ongelma ja kuinka korjata (ADAM Technology, 2009.)*

Yllä olevassa kuvassa 3 on ongelma, missä valo osuu annettuun kuvan pikseliin. Valo itsessään, on voinut tulla mistä tahansa pisteestä pikselin säteellä perspektiivin keskiöstä itse kohteeseen. (ADAM Technology, 2009.)



*Kuva 4. Valaistus ongelma ja kuinka korjata (ADAM Technology, 2009.)*

Ratkaisu ongelmaan (kuva 3) on, lisäämällä uusi kuva joka on otettu eri kohdasta (kuva 4), tällöin tapahtuu säteiden kohtaaminen, mikä mahdollistaa 3 ulotteisen sijainnin määrittelyn pisteeseen, mistä valo alun perin tuli. (ADAM Technology, 2009.)

Kolme tärkeää informaatiota 3D sijaintien määrittelyyn:

#### 1. Suuntaus (*Exterior Orientation*)

- Jokaisen kameran perspektiivin keskipiste
- Kameroiden pyörähdys tapahtuu perspektiivin keskiössä.

#### 2. Kuvien yhteen sovittelu

- Pisteiden sijainti kuvakennossa. (ADAM Technology, 2009.)

Sisällä kuvaamisessa pitää huomioida ikkunasta tuleva valo, jos toisessa otetussa kuvassa ulkoilma on pilvinen, eikä valo loista sisään ja toisessa kuvassa paistaa, on kuvissa eroja ja mallintaminen epäonnistuu. Parhaan tuloksen saa, kun välttää huoneita missä on ikkunat, tai peittää ne ja käyttää keinotekoista valoa. Jos suinkin, on vältettävä kuvaamista niin, että objekti jää kameran ja ikkunan väliin. (Holmes, Instructablesa, n.d.a)

Kuvien värilämpötila ja valkobilanssi ovat ensimmäiset asiat jotka pitää säätää kuntoon ennen kuvaamisen aloittamista. Värilämpötila tarkoittaa kuvien värjäämistä, paras tapa varmistaa kuvien oikea värilämpötila kamerasta, on katsoa musta, valko- ja harmaa sävyjä kuvista. Tätä kutsutaan valkobilanssiksi. Tällöin jos harmaa ja valko- sävyt hieman sinertävät/viherävät, tai kellertäväinen/purppurainen väri, pitää säätää värilämpötilaa kameran asetuksista. (Obscura, Instructablesb, n.d.a)

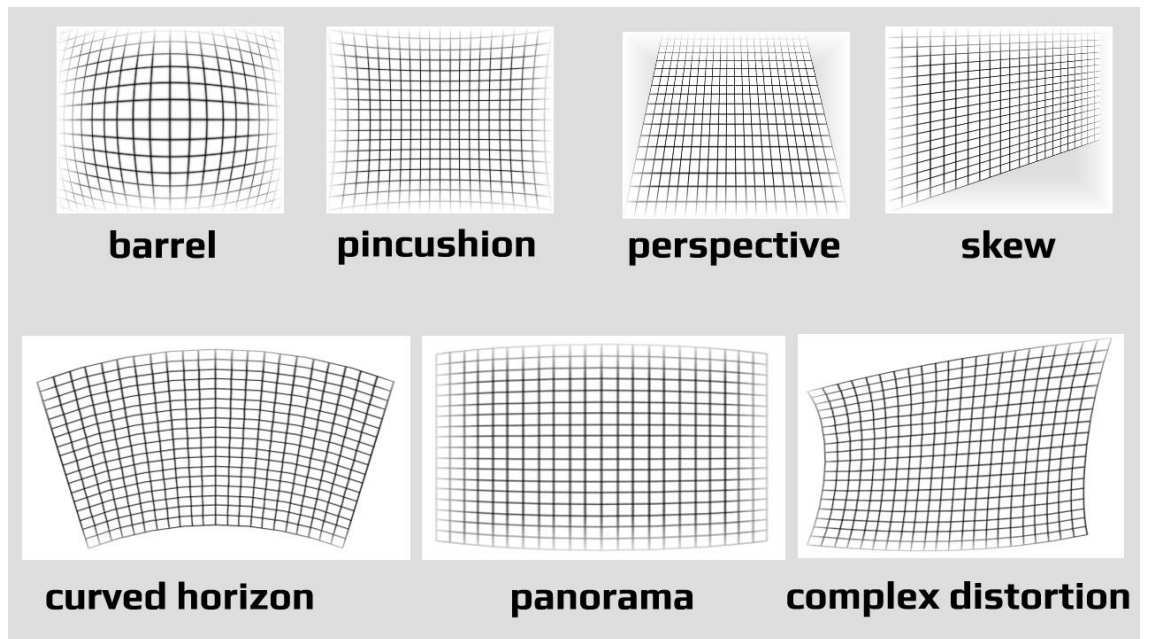
Lämpötila vaihtelee sisävalaistuksessa tyypillisesti 2700 ° K ja 3000 ° K välillä. Kameran esiasetukset on suunniteltu mukautumaan juuri tietyn tyyppiin sisävaloihin, poistamalla hehkulamppujen ja fluoresoivien polttimoiden valon heijastusta. Puoliautomaatti ja manuaali mahdollistavat valkobilanssin asettamisen kuvatessa, mikä tuottaa yhtenäisemmän bilanssin kuvan ja valon välillä. (Obscura, Instructablesc, n.d.b)

## 4. KUVIEN OTTAMINEN

### 1.4 Raakakuvat eli CR2 ja sen kääntäminen JPEG muotoon

RAW eli raakakuva, yleensä häviötön tiedostomuoto, tallentaa kaiken tiedon mitä sensori kuvasta on tallentanut. Kuvatessa JPEG formaatteja, kuvan informaatiota automaattisesti kompressoidaan ja se häviää. Koska mitään tietoa ei kompressoida raakakuvissa, se mahdollistaa korkeamman laadun kuvissa. JPEG muodossa kuvien jälkikäsitteily ongelmatilanteissa on lähes mahdotonta, raakakuvien korjaaminen onnistuu, koska tarvittava data muokkaamiseen on säilynyt. Kirkkaudentasot ovat numeroita mustasta-valkoiseen otetussa kuvassa. Enemmän tasoja, sen tasaisempi siirtymä sävyjen välillä. JPEG tallentaa 256 tasoa ja raakakuva tallentaa 4096 ja 16384 tason välillä, tätä kuvaillaan termillä bitti (binäärinumero). JPEG tallentaa 8 bittiä ja raakakuva tallentaa 12 tai 14 bittiä. (Lim, n.d)

Kameran linseistä voi esiintyä erilaisia vikoja tietyissä polttoväleissä, aukon ja tarkennuksen kanssa (kuva 5). Nämä näennäiset vääristymät ja poikkeamat voidaan korjata, jos raakakuvia on käytetty. (Adobe, 2017)



Kuva 5. Tyypilliset vääristymät kuvissa (Photography – Basic Image Distortion Types, 2015.)

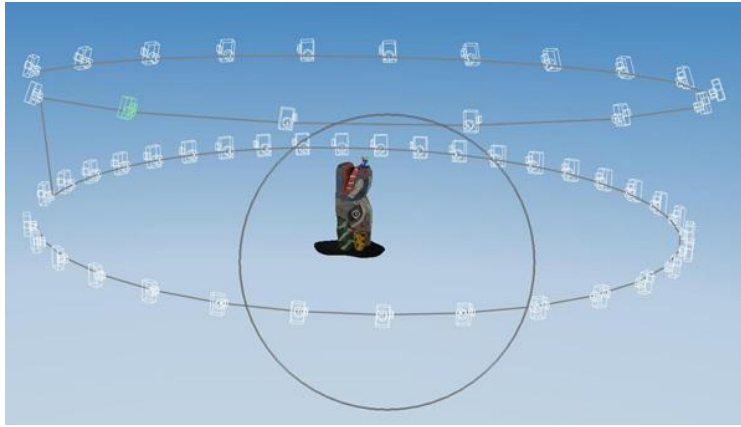
### 1.5 Tekniikka

Fotogrammetria tekniikka perustuu ihmissilmän näön periaatteeseen ja syvyyseen. Kuvien päällekkäisyyden (kuva 6) stereoskooppisista kuvista. Kuvia ottaessa ensimmäinen kuva otetaan suoraan ja seuraavat kuvat hieman vinossa kuvattavasta kohteesta, suositeltava on noin 10-20°. (Melvin J. Wachowiak, n.d)



Kuva 6. Päällekkäisyys kuvissa (Abby, 2015.)

Vastaavasti vaihtoehtona on kuvata pyörivällä pöydällä, jossa itse objekti pyörii määrätyn asteen ja kamera ottaa kuvan pyörähdysliikkeen jälkeen (Melvin J. Wachowiak, n.d).



Kuva 7. Esimerkki miten kameran kulmat ja kuvaus kohdat näkyvät mallinnus ohjelmistossa (Matthews, n.d.)

Kuvattaessa keski- ja lähietäisyydeltä kuvattavissa kohteissa, pitää kohteesta kuvata kaikki pinnat. Etupuoli, takapuoli alta ja jos mahdollista myös sisältä. Jokaisen pinnan yhteinen piste kuuluu näkyä vähintään 2-3 kuvassa. Tämä toteutuu, kun ensimmäinen kuva otetaan suoraan ja loput kaksi pienessä  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  kulmassa pintaan nähden. (Kuzmin, 2018)

Kuvattaessa objektia jossa käytetään pyörivää pöytää, pitää taustan olla tyhjä (kuva 8). Tämä tarkoittaa joko mustaa tai valkoista, esimerkiksi kangasta tai seinää. Tyhjän seinämän tai kankaan pitää peittää riittävästi jotta, kuvat voi ottaa sekä ala- että ylätasosta. Kuvattaessa pyörivällä pöydällä, kannattaa käyttää kameran telinettä ja tekovaloa. Valot sijoitetaan niin, ettei kohde muodosta varjoja. (Holmes, Instructablesa, n.d.a)



Kuva 8. Valkoinen kangas ja valaistus suunnattuna pyörivään pöytään (Holmes, Shooting for Photogrammetry, n.d.b)

Helppoimmat kohteet fotogrammetriaan, ovat yleisesti keskikokoisia esineitä, mattapinta missä ei ole ohuita herkkiä pintoja. Esimerkiksi huonoja tilanteita olisi, kiiltävää tonnikala uimassa akvaariossa tai herkkä kukka 27 lehdellä. (Holmes, Instructablesa, n.d.a)

Kuvattaessa erilaisia kohteita, on hyvä huomioida niiden oikein sijoittelu ennen kuvienottoa (kuva 9). Jos kuvia otetaan kävellen objektin ympäri, on hyvä sijoittaa kuvattava esine telineeseen, niin että se on tasojen yläpuolella, eikä kosketuksessa toisiinsa. (Holmes, Instructablesa, n.d.a)



*Kuva 9. Esimerkki telineestä, jossa taso ja kohde eivät kosketa (Holmes, Shooting for Photogrammetry, n.d.b)*

Kuvattava kohde on vanha ruosteinen, historiallinen karhun metsästyskeihäs (kuva 10). Paras kuvaus tapa on keihään ollessa vakaasti pystyssä, kamera nostettu alatasoon keihään kärjen alaosaan. Kuvia otetaan kaksi kierrosta, yksi suoraan keihästä kohden ja toinen yläviistosta.



*Kuva 10. Kuva mallinnettavasta kohteesta, paikallan museossa.*

## 1.6 Tekniikan harjoittelu

Harjoituksen materiaalina toimi ruosteinen metallilevy (kuva 11). Täten voi saada kuvaa siitä, miten algoritmit käyttäytyvät ja mihin pitää erityisesti antaa lisähuomiota. Harjoitusten jälkeen tarkentavaa tietoa etsitään, mitä asetuksia kannattaa muuttaa ja miten laatua voi parantaa.



*Kuva 11. Kuvien harjoittelua varten ruosteinen metallilevy.*

Kameran säädöt pystykuvauksessa ISO 1600, valotusaika 1/50 sekuntia, aukkoarvo f5/6 etäisyys 54cm. Tulos oli kohtalainen, terävyys ei riittävä lopputuloksessa, jossa myös tarkennuksen kanssa pitää huomioida (kuva 12), että syväterävyys on riittävä. Kuvia kappale pystyssä otettiin 55, Autodesk Recap photon opiskelijalisenssi hyväksyy 100 kuvaa, joten mahdollisuus tiuhempaan, ja tarkentaviin lähikuviin on mahdollista.

Syväterävyyteen D700 kamerassa, on linssin vieressä pieni musta nappi. Käytetään määrittelemään mitä syväterävyyttä kannattaa käyttää kuvaessa. Aloitetaan leveimmästä aukonleveydestä, jopa f/3.5, tarkastetaan terävyys vaihtamalla syväterävyyttä f/5.6, f8 and f11. Pääarvo tälle on pienentää aukonleveyttä ja huomata luvussa syväterävyys on riittävä. (Savvides, 2014)





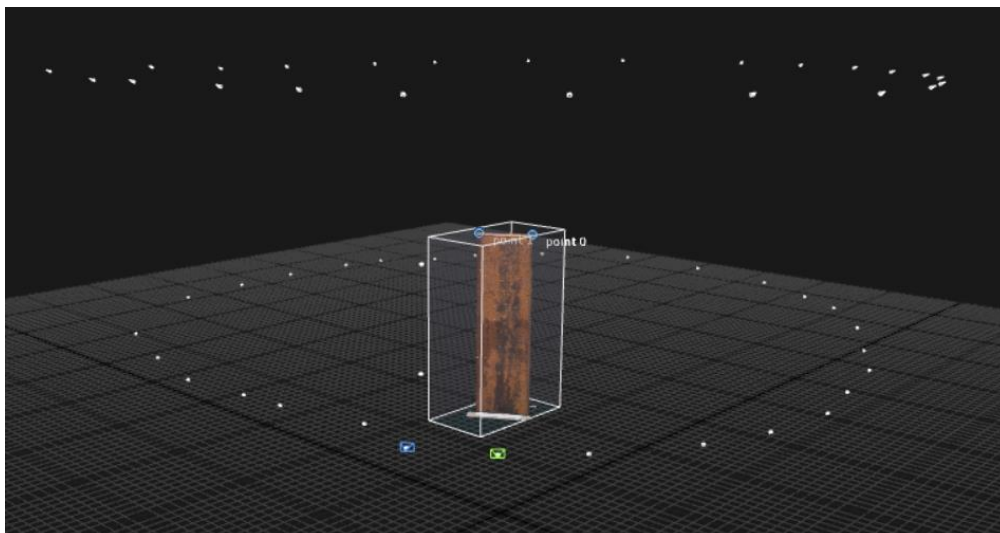
*Kuva 12. JPEG kuvista tehty mallinnus, malli pystyssä.*

Facebookin fotogrammetriaan erikoistuneessa suljetussa ryhmässä kyselyyn laadunparantamisesta vastattiin vastaavanlaisesti. Päälinssiä 18-55mm suositellaan käytettäväksi minimissään aukonarvoa f8, ISO arvoa maksimissaan 100-200 ja manuaalinen tarkennus teräviä kuvia varten. Hallitumpi valaistus kuin nyt on käytössä. (Magicien, 2018)

Facebookin fotogrammetriaan erikoistuneessa suljetussa ryhmässä toinen mielipide oli sama, paitsi että jos ottaa kuvia jalustalla, voisi käyttää korkeampaa valotusaikaa kuin 1/50 ja pieni ISO luku ja minimissään f8 (Guillaume, 2018).

Tietojen paikkaansa pitävyyttä Facebook ryhmän ohjeistukseen tarkistettiin virallisemmista julkaisuista, Instructables sivuston mukaan: valotusaika, ISO luku ja sulkijanopeus, vähintään F8 on hyvä valinta. Korkea F luku tarkoittaa sitä että, aukko on pienempi joka päästää vähemmän valoa sisään, vähemmän valoa tarkoittaa pimeämpiä kuvia, joten hidastaessa valotusaikaa, saadaan kuvien valoa lisättyä. (Holmes, Instructablesa, n.d.a)

Kameroiden asento oli ohjeistuksen mukainen, kamera 20°, linssin perspektiivin keskipisteessä (kuva 13).



*Kuva 13. Kameroiden sijainnit.*

### 1.7 CR2 ja JPEG kuvien vertailu mallintaessa

JPEG (Joint Photographic Experts Group) laatu (kuva 12), verrattaessa kuvaan 14, jossa CR2 (Camera raw) raakakuvat ovat käännetty PhotoShopissa JPEG muotoon ja mallinnettu samalla tavalla. Ei näkyvää eroa näy ruosteen pinnalla. Isoimmat erot näkyvät mentäessä kappaleen selkäpuolelle jossa valaistus vaikuttaa kiiltävään, vähemmän ruosteiseen pintaan (kuva 15).



*Kuva 14. CR2 kuvista JPEG ja sen mallinnus esimerkki.*





*Kuva 15. CR2 kuvien JPEG versiossa selkeää epämuodostumaa kiiltävillä pinoilla.*

## 5. OHJELMAT

### 1.8 Autodesk Recap Photo

Autodesk Recap photo on pilvipalveluun perustuva koneelle asennettava ohjelma, ohjelmaan on tullut muutamia lisäosia kuten UAV (unmanned Aerial Vehicle) mikä tarkoittaa miehittämätöntä ilma-alusta. Ohjelmistoon voi ladata 1000 kuvaa, opiskelija versioon voi ladata 100 kuvaa. Määrä riittää, kun kuvattava kohde on pieni. Ohjelma on kuvien pilveen lataamista varten, valmiiksi ladatusta kuva ryhmästä tulee raaka malli RCM eli (reality computing MESH file format). (Phan, 2017)

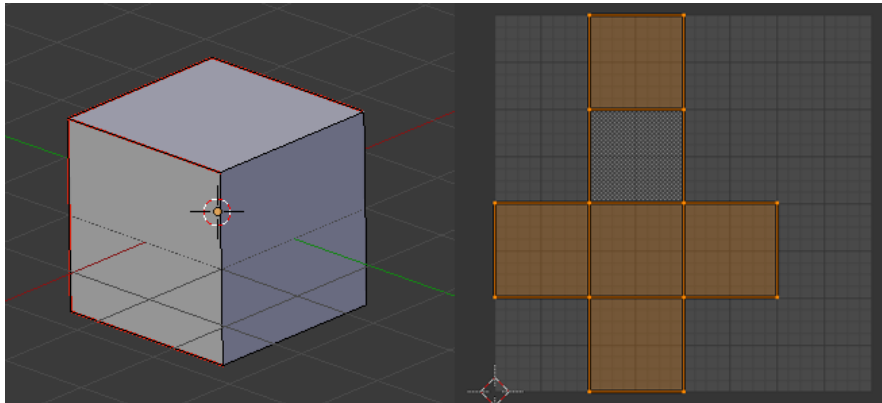
Ohjelmisto sisältää työkaluja kuten, slice & fill, tarpeettomia osia voi poistaa, mutta ei tarkasti. Pinnan muokkaus, reikien peitto, siltaus- ja pursutus työkaluja.

### 1.9 3ds Max

3ds Max on ammattilaiskäyttöön suunnattu 3D-mallinnus, animaatio- ja renderöinti ohjelma, kehitetty pelejä ja visuaalista suunnittelua varten. Kuuluu Autodeskin ohjelmisto kokoelmaan, vahvuuksia sillä on mallinnus-ominaisuudet ja plugin-arkkitehtuuri. Autodesk tukee opiskelijoita tarjoamalla opiskelijalisenssiä, rajoituksena on, ettei töitä saa käyttää kaupallisessa tarkoituksessa. Tiettyjen koulujen opiskelijoilla, on mahdollisuus saada ilmainen opiskelijalisenssi käyttöön Autodesk sivustolta, opiskelija-portaalista. (Wikipedia, n.d.f)

### 1.9.1 UV unwrapping 3ds Maxissa

UV unwrapping on prosessi, missä 3D-mallin pinta kuoritaan 2D-tekstuuriksi (kuva 16). Käytännössä toimenpide on välttämätön, mikäli halutaan objektin tekstuuri, tai jokin tietty yksityiskohta, riittävän tarkkaan lopputulokseen. (Mairlot, Blender Stack Exchange, 2015a)



Kuva 16. Esimerkki 3D-kuutiosta ja sen kuorinnasta 2D-tekstuuriksi (Mairlot, *What does unwrapping a model do and why is it important?*, 2015b)

Uv layout on 2D esitys kuutiosta, missä jokainen neliö kuvassa 16 oikealla, on vasemmalla olevan verkon pinta (Mairlot, Blender Stack Exchange, 2015a).

$$p = (x, y, z) \quad (1)$$

$$p = (u, v) \quad (2)$$

Uv mapping on 3D-mallintamisen prosessi, jossa heijastetaan 2D kuva, 3D-mallin pinnalle, luoden tekstuuri kartan. Kirjaimet U ja V (2), määrittävät 2D-tekstuurin akselit, koska X, Y ja Z (1), ovat jo käytössä määrittämään objektin akselit 3D-avaruudessa. (Wikipedia, n.d.b)

### 1.10 Adobe Photoshop CC

Adobe Photoshop CC:ta Käytetään nimeä Photoshop, Adobe Systems yhtiön kehittämä kuvienkäsittelyohjelma. Ohjelma sisältää mahdollisuuksia käyttää kuvissa tasoja, tasojen avulla voidaan luoda saman sävyisiä ja niiden tasojen läpikuultavuutta voidaan säätää, mahdollistaen materiaalien saman sävyn. Kuvattaessa Raakakuvilla, niiden häviötöntä raakatietoa voidaan käyttää Photoshopissa, kun ne käännetään kuvaprosessilla JPEG kuviksi. (Wikipedia, n.d.c)

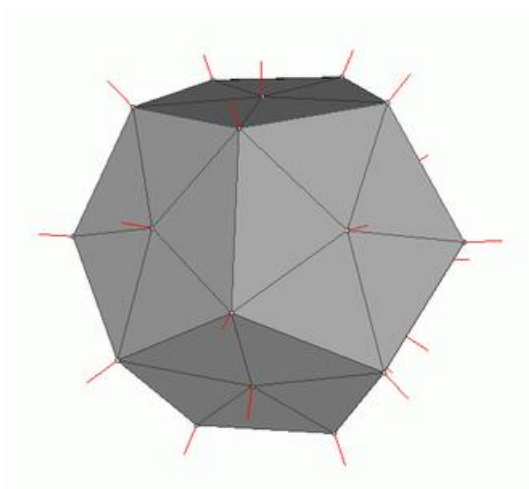
## 1.11 RealityCapture

RealityCapture tunnetaan myös nimellä RC. Se on fotogrammetriaan erikoistunut ohjelmisto, joka luo 3D-malleja kuvista, jotka ovat järjestämättömiä, maanpäällisiä tai lennosta otettuja kuvia. RealityCapturella voi tuottaa myös Laserskannaus mallinnuksia, jonka kuvat ovat saumattomia. Parempaan kuvalaatuun pääsee, jos yhdistää kameran kuvat ja laserskannaus tekniikan, jolloin ohjelma voi laskea paremmin datapisteiden sijainnit. (Wikipedia, n.d.d)

### 1.11.1 Wavefront OBJ

OBJ, on Wavefront Technologiesin kehittämä geometrian määrittelytiedostomuoto, luotu sen kehittyneelle Visualizer- animaatiopaketille. Tiedostomuoto on avoin ja muut 3D-grafiikkasovelluksen toimittajat ovat ottaneet sen käyttöön. (Wikipedia, n.d.e)

OBJ-tiedostomuoto on yksinkertainen tietomuoto, joka edustaa 3D-geometriaa – muotoa jossa kunkin huippupisteen sijainti, kunkin teksturointi-koordinaatti huippu, huipun normaalin UV-sijainti ja kasvot (kuva 17), jotka muodostavat jokaisen monikulmion määrittelyiksi listoiksi huippupisteistä ja tekstuuripisteistä. (Wikipedia, n.d.e)



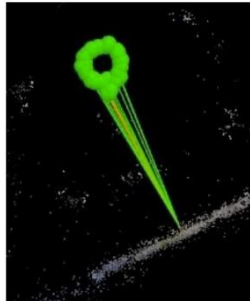
Kuva 17. Huipun normaalit merkattuna dodecahedral muodon meshiin (Wikipedia, n.d.g)

## 6. HUONEEN MALLINNUKSEEN

### 1.12 Kuvaus menettelytavat

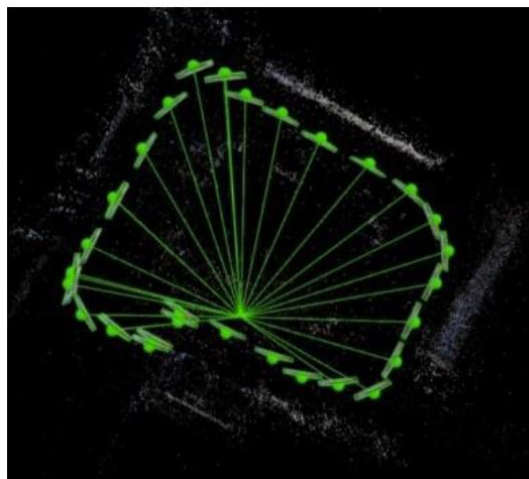
Kameran asetukset, joko säädetty polttopiste tai manuaalinen tarkennus. Iso ja säädetty valotusaika parempaan valloitukseen kuvissa. Pieni ISO luku vähentää häiriöiden määrää kuvissa ja parantaa kuvien laatua. (Luthi, pix4d, 2017b)

Kuvausmenettely 1: huoneen keskellä seisominen, kääntyen ympäri ottaen kuvia, kohtisuora kameran asento kuvattavaan kohteeseen (kuva 18). Lähtökohta on terävä  $0^\circ$  kulmainen leikkauspiste joka johtaa epättydyttäviin tuloksiin. (Luthi, pix4d, 2017b)



*Kuva 18. Huoneen keskellä, pyöriväliike (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)*

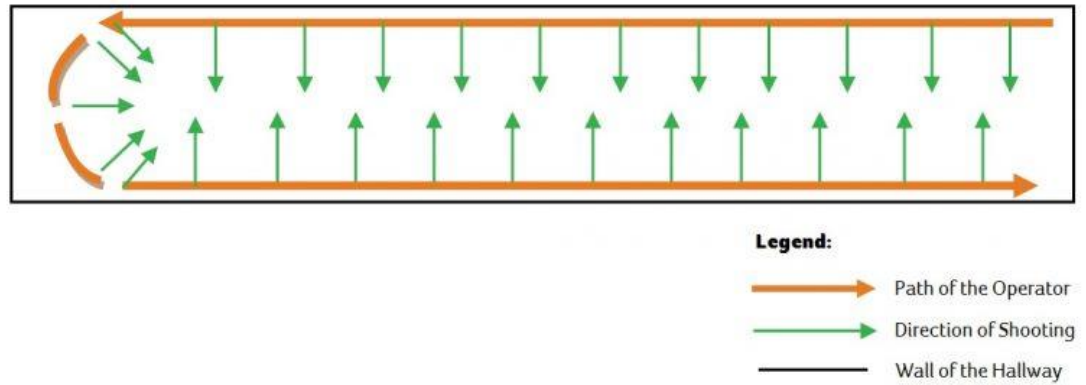
Kuvausmenettely 2: Liikkuminen yhdensuuntaisesti huoneen ympäri, ja aina kamera kohtisuorassa mitattavaan alueeseen (kuva 19). Tarkennus kohde jää keskelle, joten kuviin tulee vähemmän vääristymiä. (Luthi, pix4d, 2017b)



*Kuva 19. Yhdensuuntainen liike huoneen seiniä pitkin (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)*

### 1.13 Kuvaus kulmat

Kamera kulma 1: selkä seinää vasten, kuvaus  $90^\circ$  kulmassa (kuva 20) (Luthi, pix4d, 2017b).

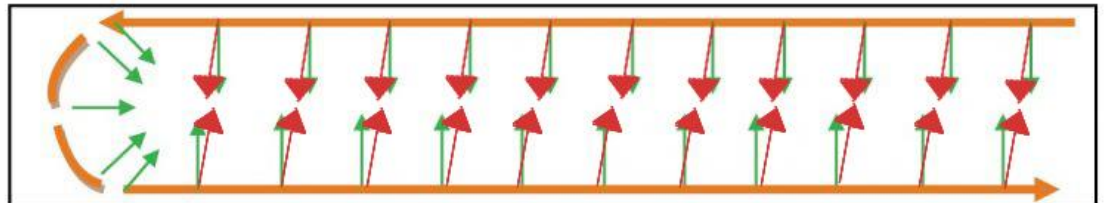


Kuva 20. Seinää vasten, 90 asteen kulmassa (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)

Vastaavuudet kuvissa toisiinsa nähden olivat parhaat ja jakautuneet hyvin. Vähäisempi heijastusten määrä kuin muissa kamerakulman esimerkeissä. (Luthi, pix4d, 2017b)

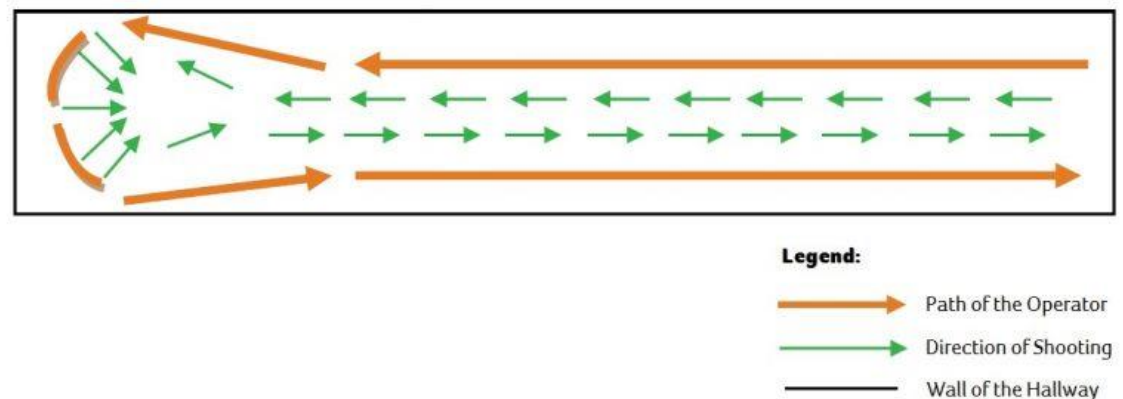
Edellisten kuvausten perusteella, joissa isompaa kohdetta on kokeiltu, voi todeta tämän tekniikan toimivan. Kuitenkin niin, että kamera käännetään pieneen kulmaan, 10 – 20 astetta. Tällä estetään ottamasta panoraama kuvia, joista ohjelmistojen algoritmit eivät pysty lukemaan riittäviä syvyyksiä, poikkeamia ja näin ollen luomaan kunnollista mallinnusta kohteesta.

Huoneen kuvauksen työssä käytetään n.20 asteen kulmaa, kuten kuvassa 21.



Kuva 21. Kuva muokattu punaisilla nuolilla osoittamaan kuvallisesti tutkinnan tulos käytettävästä tekniikasta. alkuperäinen kuva lähteessä. (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)

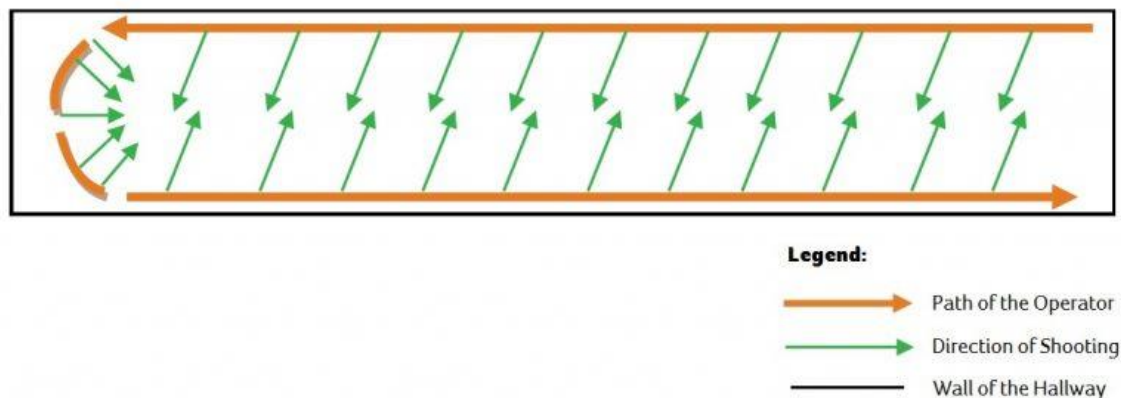
Kamera kulma 2: kuvaajan sijainti keskellä huonetta, ottaen kuvia suoraan eteenpäin (kuva 22) (Luthi, pix4d, 2017b).



Kuva 22. Keskellä huonetta, kuva suoraan eteenpäin (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)

Metodissa käytetään suoraa terävää leikkauskulmaa, jotka eivät luo hyviä vastaavuuksia. Tämä johtaa tyytymättömään lopputulokseen. Pikselit väristyvät kulmista, joka johtaa vähempiin vastaavuuksiin kuin esimerkissä 1. (Luthi, pix4d, 2017b)

Kamera kulma 3: selkä seinää vasten, kuvien ottamiskulma  $45^\circ$  (kuva 23) (Luthi, pix4d, 2017b).

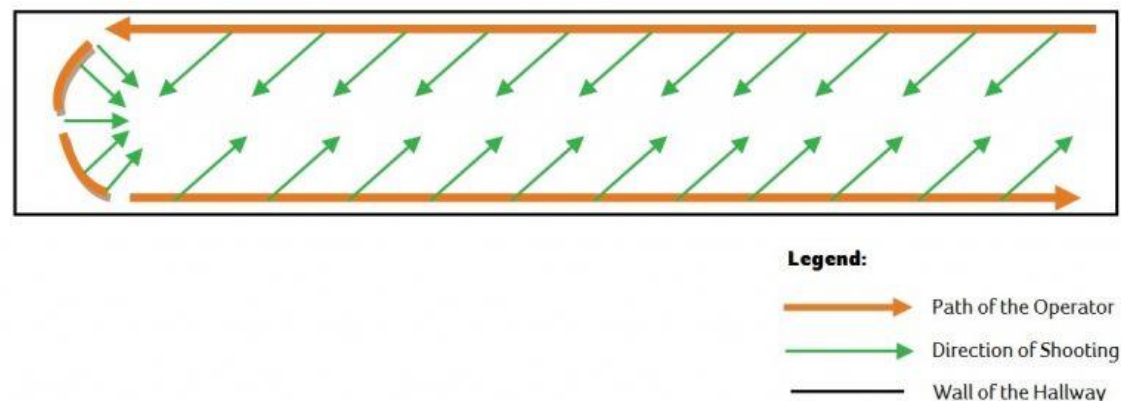


Kuva 23. Selkä seinään, kuvat  $45^\circ$  kulmassa (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)

$45$  asteen kulmassa kuvatessa, leikkauspisteen kulmat ovat hieman suurempia kuin esimerkissä 2, mutta vähemmän kuvien päällekkäisyyksiä saavutettiin. Esimerkkien 2 ja 3 välillä ei ollut isoja virhe eroja. Vastaavuuksien puute suurin seinissä, parhaat vastaavuudet sijoittuvat lattiaan. (Luthi, pix4d, 2017b)

Suosittelava kulma on maksimissaan  $20$  astetta, yllä olevassa kuvassa 23, on selkeästi käännetty kameran kulmia liian suuriksi ja näin saatu enemmän vastaavuuksia lattiaan, kuin seiiniin.

Kamera kulma 4: selkä seinää vasten, kuvien ottamiskulma  $60^\circ$  (kuva 24) (Luthi, pix4d, 2017b).



Kuva 24. Selkä seinää vasten,  $60^\circ$  kulmassa (Luthi, Indoor Mapping Game Plan, 2017a)

Esimerkkiä 3 hieman parempi vastaavuus, keskitetty tarkennus tässäkin tapauksessa sijoittuu lattiaan (Luthi, pix4d, 2017b).

Kameran 60 asteen kulma on todella liioiteltu, voidaan todeta tarkennuksen algoritmeissa keskittyneen enemmän lattiaan, kuin seiniin.

## 7. KEIHÄSPROJEKTIN KÄYTÄNTÖ

Tässä osiossa työtä käydään läpi keihään mallinnuksen vaiheet, käsitellään kuvien ottaminen käytännössä, oikean mallin kuvaus vaiheen valaiseminen ja sen asettelu (kuva 25), niin että sen kuvaaminen on käytännöllisintä. Tavoitteena on vaihe vaiheelta käsitellä mallin syntyminen kuvista 3D malliksi. Tämän jälkeen mallille suoritetaan re-topology jälkikäsittely, menetelyllä muokataan mallin polygonirakennetta. Valitaan taso jossa faces määrä vastaa riittävää määrää säilyttäen muotonsa ja kauniin ulkonäön. Mallille tehdään re-topology käsittelyn jälkeen teksturointi, minkä jälkeen malli voidaan siirtää mallinnus ohjelmaan. Malliin yhdistetään käsin tehty varsi osa, joka materialisoidaan näyttämään alkuperäisen mallin mukaiselta.



*Kuva 25. Keihään kärjen valaisu led-valoilla, keihäs on pysty asennossa.*

Projekti käydään asteittain läpi, kiinnittäen huomiota ongelmakohtiin, mitkä ovat asioita joita kannattaa välttää. Asiat jotka vaikeuttavat mallin siistin lopputuloksen aikaansaamista ja mahdollisesti jopa työn kokonaan epäonnistumista. Käytettävät ohjelmistot on esitelty aikaisemmin teoria osuudessa.

### 1.14 Mallin kuvaus

Ensimmäinen vaihe työssä on mallin kuvaus (kuva 25). Kuvaus koostuu kameran asetuksista (kuva 26). Valot asetellaan siten, ettei metalli heijasta



valoa liiksi ja aiheuta virheitä mallinnusvaiheessa. Objekti on asetettu niin, että kameralla ja sen alustalla on helppo pyöriä kappaleen ympärillä ja säilyttää etäisyys kohteeseen. Linssiksi on valittu 50 mm macro linssi.

ISO-nopeus	ISO-100
Aukkoarvo	f/16
Valotusaika	1.3 sekuntia
Valotus	0 step
Valotusohjelma	Manuaalinen
Mittaustila	Taustakuvio
Salamavalo	Ei salamaa, pakollinen
Polttoväli	50 mm

*Kuva 26. Kameran asetukset keihään kuvaus päivänä.*

### 1.15 Mallin luominen kuvista

Kuvia malliin otettiin 73 kappaletta, määrä on riittävä kohteen kokoon nähden. Kuitenkin on hyvä muistaa, että mitä useampi kuva kohteesta on, parantaa onnistumisen prosenttia, joten on hyvä käyttää aikaa kuvatessa objektia. Mitä tiheämpään kuvia on otettu, välttää myös päällekkäisyyden kanssa tulevat ongelmat, mikäli kuvien välistä joutuu poistamaan huonosti onnistuneen kuvan. Mallin luomiseen käytettiin Recap Photo ohjelmaa, kun kuvista on valittu pois huonosti onnistuneet otokset, kuvat joissa on poikkeamia ympäristössä joita muissa ei näy, se on tarkentunut huonosti tai valottunut liikaa. Kuvia otetaan CR2 muodossa, jotka kääntyvät Photoshopissa JPEG muotoon. Hyväksi todetut kuvat valitaan kansiona ohjelmassa mikä lähetetään kuva ryhmänä pilvipalveluun.

### 1.16 Mallin tarpeettomien osien siistiminen

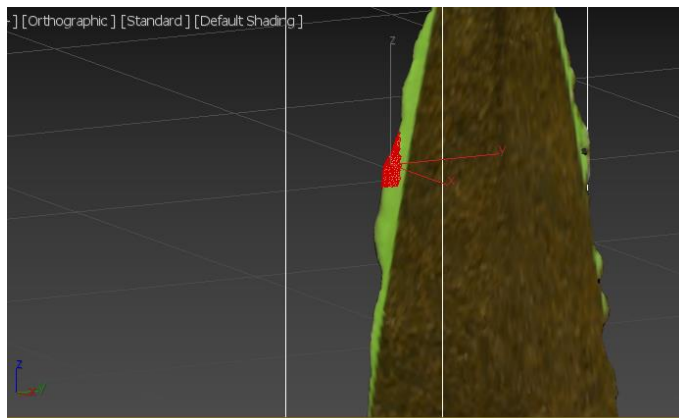


*Kuva 27. Kuvien mallinnus tulos.*

Kuvassa 27 näkyy huoneessa olleen vihreän seinän tuoma hankala sulautuminen. Kun objekti oli muutettu obj muotoon rcm muodosta, voitiin se siirtää 3D-max ohjelmaan, jossa sille aloitettiin alustava siistintä työ.



Ylimääräiset vihreät alueet poistettiin ja kuulumattomat polygonit poistettiin mudboxin viimeistelyä varten.

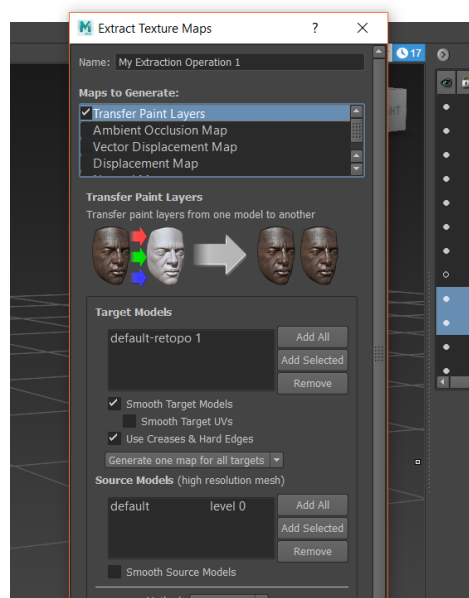


Kuva 28. Vihreän alueen siistiminen 3D-maxissa.

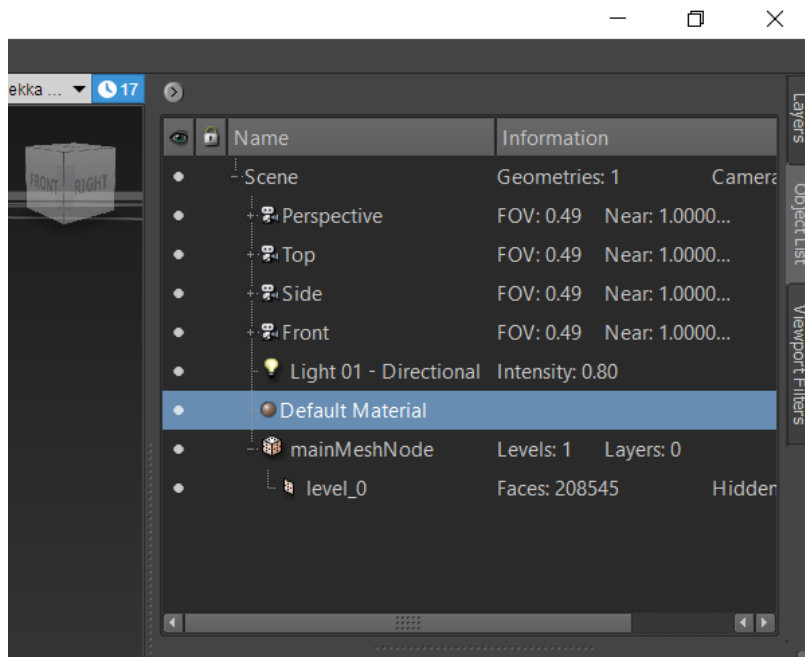
Poistaessa tarpeettomia alueita (kuva 28), pitää varoa poistamasta jotain tarpeellista, objektin molempia puolia pitää tarkkailla ja poistaa pala palalta, kunnes tulos on tarpeeksi hyvä.

### 1.17 Re-topology

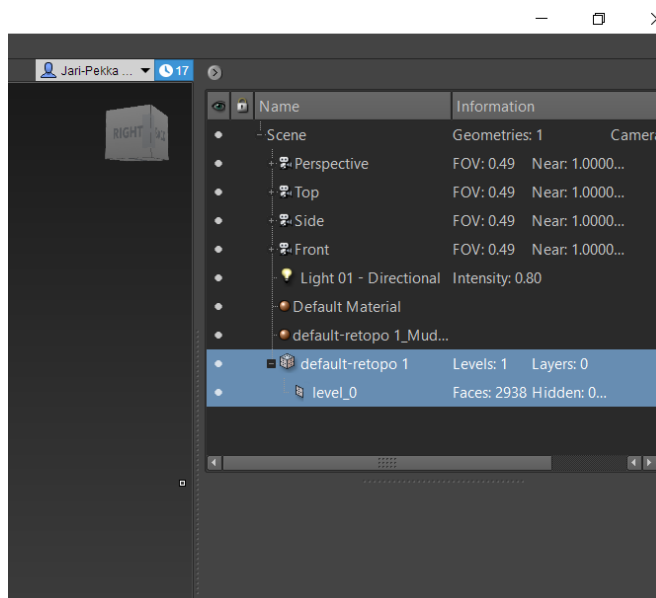
Kun mallia on siistitty tarpeeksi, seuraava vaihe sille on re-topology. Re-topology käsittelyssä vähennetään faces määrää, jolla objektista saadaan kevyempi käsitellä. Käsittelemättömänä keihäessä on 208 545 facea (kuva 30). Määrää tiputetaan re-topologialla 2938 faceen (kuva 31), uudelleen luodulle mallille luodaan uusi UV kartta. Luotuun Uv karttaan siirretään alkuperäisen kartta (extract texture maps) (kuva 29) automaatiikka työkalulla.



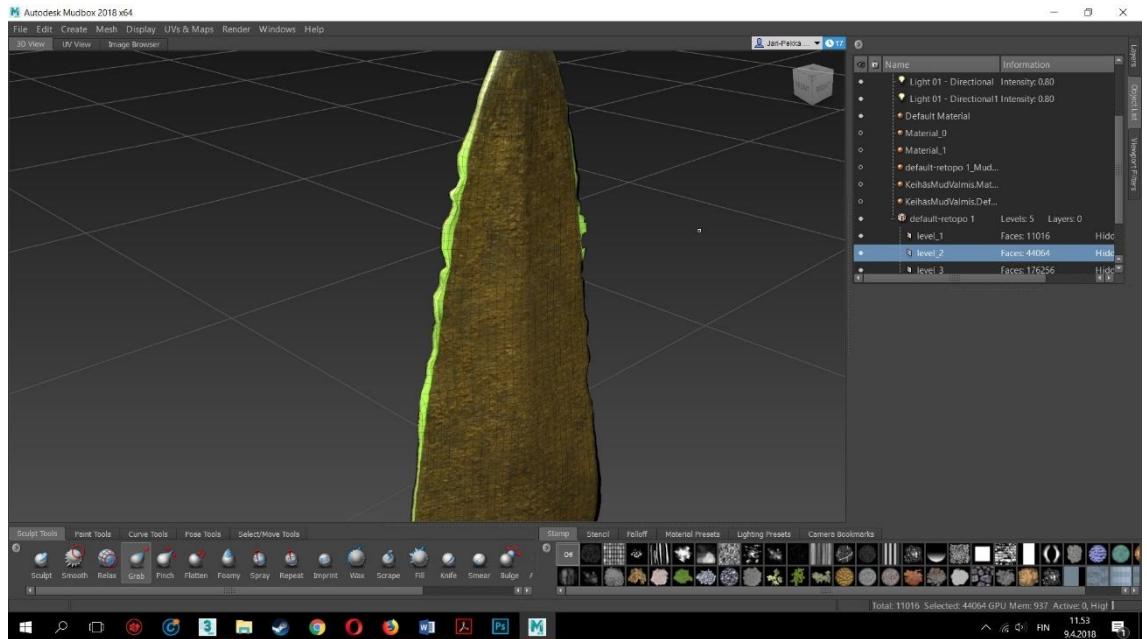
Kuva 29. Uv-kartan siirto alkuperäisestä uudelleen luotuun malliin.



Kuva 30. Keihässä Mudboxissa alkuvaiheessa facen määrä on korkea.



Kuva 31. Re-topology käsittelyn jälkeen facen määrä on tippunut huomattavasti.

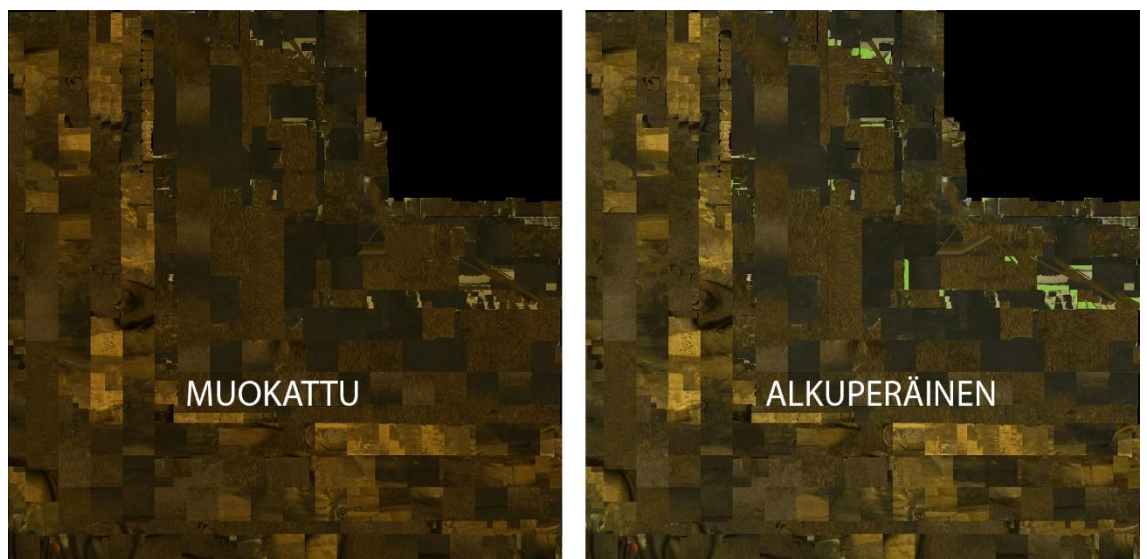


Kuva 32. Mudbox skulptaus vaihe.

Reunojen siistimiseen käytettiin grab työkalua (kuva 32). Työkalulla pinta silloitetaan keihään muotoiseksi ja pinch työkalulla kavennetaan kärjen reunat terävimmiksi, näin saadaan aidompi lopputulos.

### 1.18 Materiaali

Materiaali tallennetaan ja avataan Photoshop ohjelmassa, vihreät alueet korvataan kloonamalla sen vierestä olevaa materiaali vihreän alueen päälle (kuva 33). Kun kaikki vihreät alueet on siistitty, tulee lopputuloksesta kuvan 34 kaltainen.



Kuva 33. kuväkäsittely materiaalille tehdään Photoshopissa.



*Kuva 34. Materiaali Photoshop korjauksen jälkeen.*

3D-maxissa muokkaus tapahtuu polygon tasolla, siirretään virheellisissä paikoissa olevia vertexejä ja poistetaan tarpeettomat. Muotoa parannetaan siirtelemällä varovaisesti X, Y ja Z akselilla vertexien pisteitä ja näin saadaan muotoa viimeistelyä.

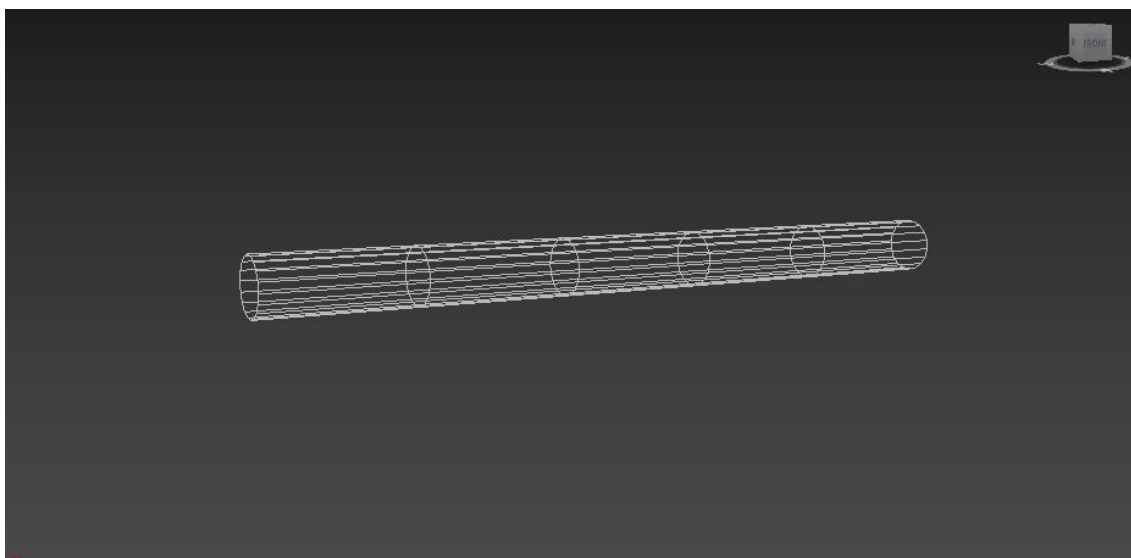


*Kuva 35. Materiaali siistittyä, Arnold materiaali ja bitmap, kuva on renderöity 3D-maxissa.*

Kuvassa 35 Vertexien uudelleen asettelu lopputulos. Paikoittain reikäisiksi jääneet reunoille tehtiin border valikko valittuna cap poly toiminto. Tasot liitettiin riittävän lähelle toisiaan ja tasainen tasoitus työkalulla korjailtu tasojen väli ei näin näy huomattavasti tarkallakaan silmällä.

### 1.19 Fotogrammetrian ja käsin mallintamisen avulla luotujen objektien liittäminen yhteen

Varren tekeminen alkoi standardi primitiivi sylinterin luomisesta (kuva 36). Itse kärjen pituudeksi tuli n.4,5 kertaa kärjen pituus. Pituutta on hankalampi muuttaa jälkeenpäin, koska materiaali venyy, mikäli sen mittasuhteita muutetaan. Työn materiaalisoinnisen helpottamiseksi, pysty- ja sivuttais-segmenttejä lisätään riittävä määrä, mikä selviää myöhemmin, kun Uv-karttaa asetetaan paikalleen materiaali editorissa.

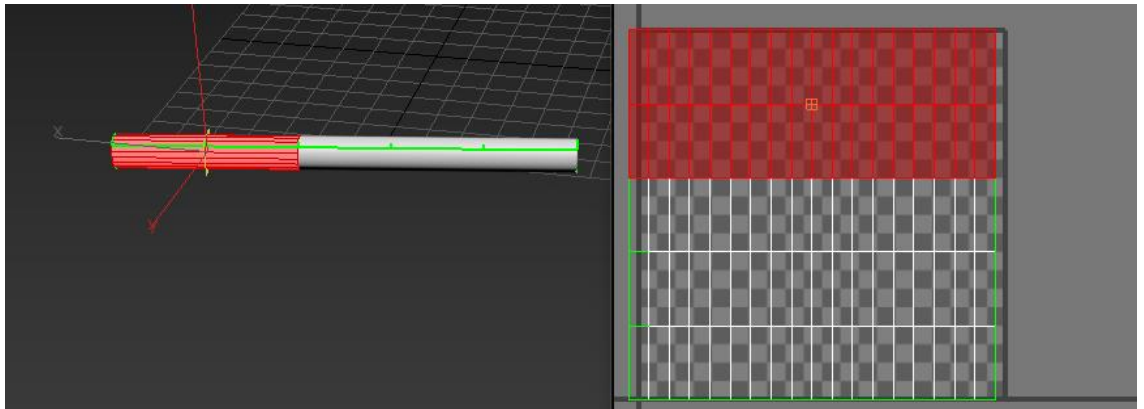


Kuva 36. Varren Wireframe ennen ulkomuodon muokkausta.

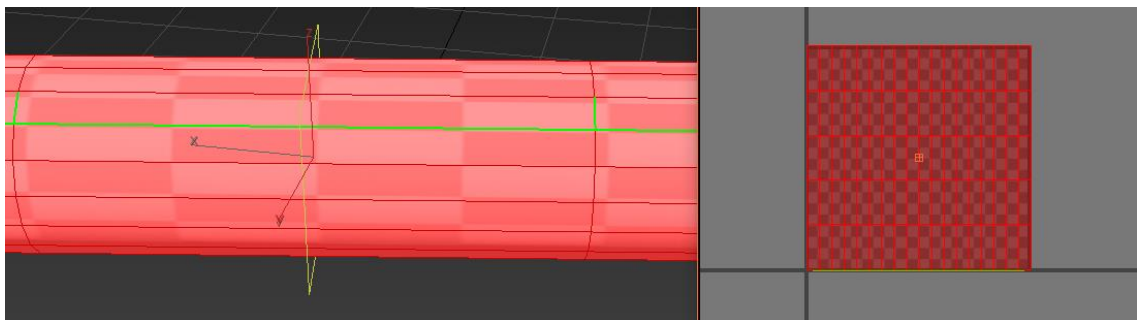
Tämän jälkeen sylinteri muutetaan polytasolle ja sille tehdään unwrap UVW modifikaatio. Uv editorissa alunäkymä on shakkiruutu, jonka sisällä on lähtökohta materiaalin kehykselle. 3D-max ei automaattisesti luo materiaalista täydellistä, vaan sitä pitää manuaalisesti käsitellä.

### 1.20 Unwrap UVW

Valitessa pinnat joihin materiaali lisätään, tulee muistaa lisätä kaikki pinnat mukaan editorin valinta pinnalle. Modifikaatio toiminnassa on oletuksena päällä toiminto nimeltä ignore backfacing, tämän takia vain näkyvät polygon-pinnat valitaan maalatessa objektia. Kuvassa 37, on esimerkki siitä, kuinka materiaali käyttäytyy editorissa. Editorin näkymä on kuitenkin rajoittunut, suositeltavaa on tarkistaa, että halutut pinnat on valittu myös mallinnus ikkunasta.



Kuva 37. Esimerkki materiaalin käyttäytymisestä editorissa, kun osa sylinterin pinnasta on valittu.

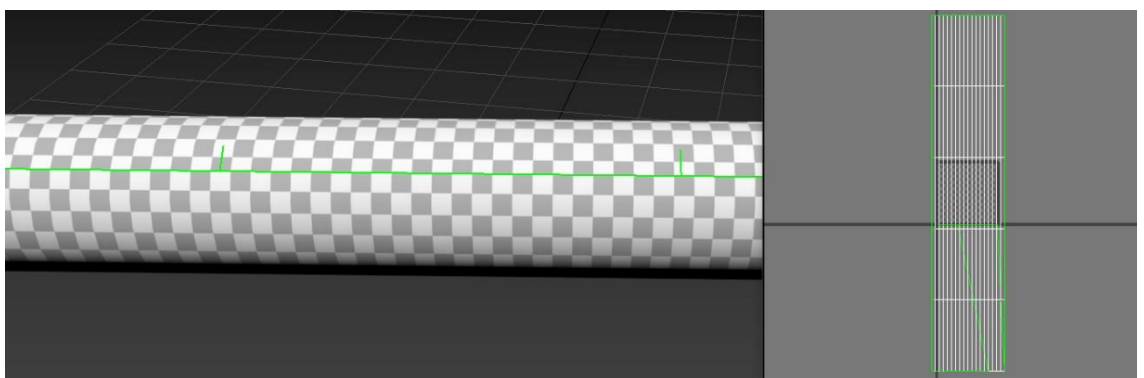


Kuva 38. UVW unwrap ja materiaalin pinnan valinta.

Kuvassa 38, materiaalin pinta on valittu, jotta tuleva pintamateriaali asetuu oikein, sitä varten on käytetty shakkikuviota, tämä on vielä kuvassa 38 venynyt sivusuunnassa. Shakkikuvio kuva on oletuksena käytössä editorissa ja se helpottaa kuvan mittasuhteiden säätämistä kuvan 39 työkaluilla.

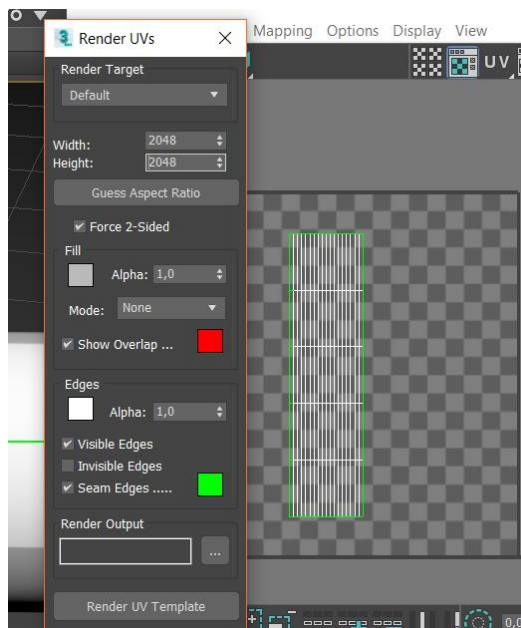


Kuva 39. Checkbox esimerkki kuvan käyttö, kuvan koon muokkaus työkalut ja materiaalin sovittaminen UVW-mappiin.



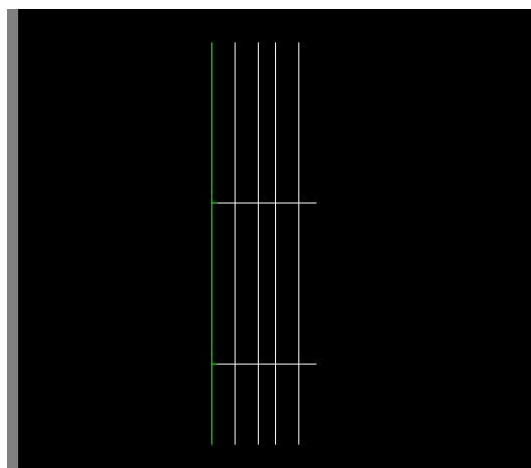
Kuva 40. Kuvassa esimerkki shakkiruutu kuva materiaali on nyt 1:1, editorissa myöhemmin luotu kuvan venyminen on tällä menetelmällä estetty.

Ruutujen 1:1 suhdetta haetaan venyttämällä pysty- ja sivusuunnassa työkaluja (kuva 39) käyttämällä. Kuvassa 40, oikeassa näkee kuinka vihreä reunainen wireframe kuva, on venynyt pysty suunnassa huomattavasti, verrattessa kuvaan 38.



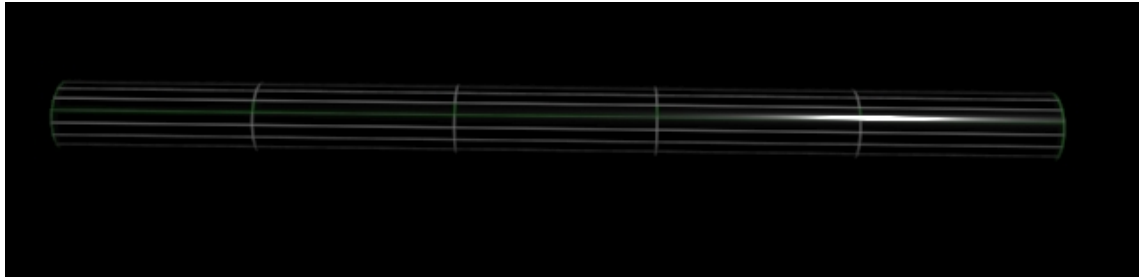
Kuva 41. UVW unwrap renderöinti ikkuna.

Kun oikeaan kuvasuhteeseen päästään, wireframe kuva skaalataan mahdumaan renderöinti-ikkunaan. Kuvassa 41 renderöinti-ikkuna on shakkikuvio, jossa vihreäreunainen wireframe on sisällä. Korkeus ja leveys asetuksia voi halutessa muuttaa, näiden oletus arvot ovat 1024. On hyvä muistaa että 1:1 pysyy parhaiten kertaamalla molemmat luvut kahdella. Tässä tapauksessa käytetään 2048. Tämä tehdään siksi että saadaan parempi kuvan laatu varren materiaaliin, kun kuva koko on suurempi.



Kuva 42. Renderöity wireframe editorissa.

Kun kuva on renderöity (kuva 42), kuva voidaan käyttää 3D-maxissa materiaali-ikkunassa materiaalina sylinterille, kuten kuvassa 43.



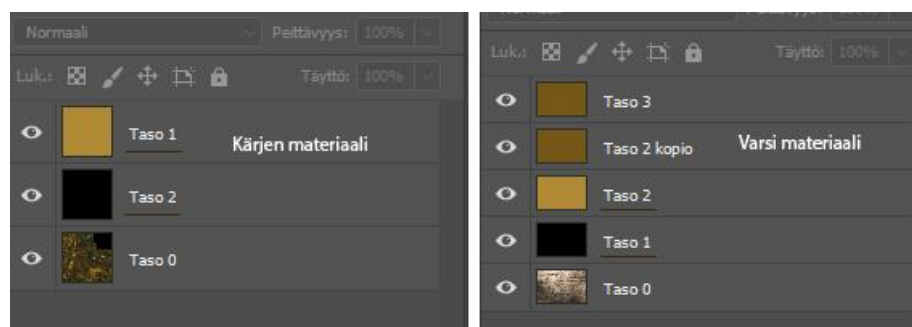
Kuva 43. UVW unwrap työkalulla renderöity kuva käytettynä materiaalina.



Kuva 44. Materiaali on lisätty photoshopissa wireframe kuvan päälle.

Wireframen vihreäkehys kannattaa ottaa renderöinnissä mukaan kuvaan, tämä helpottaa kuvamuokkausta, kun tietää mille alueelle materiaali kuuluu laittaa. Kuvassa materiaali eli vanha puunpinta, on lisätty vihreän alueen sisäpuolelle, wireframe näkymä on piilotettu. Poistaessa wireframe taustaa, kannattaa luoda uusi taso, jonka pohjaväri on musta. Kuva tallennetaan samalla nimellä ja materiaali näkyy 3D-maxissa kuten kuvassa 44.

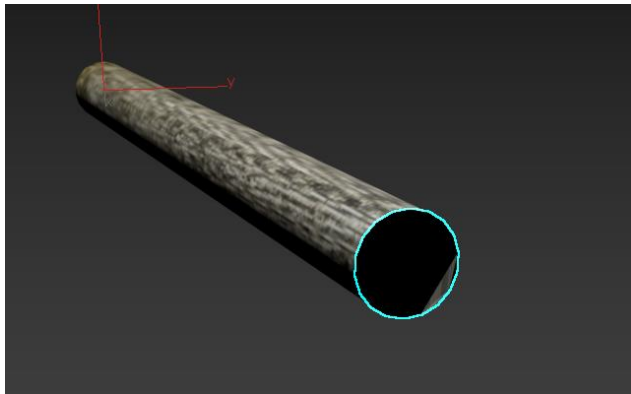
Samana sävyn keihään ja varren materiaaleihin, sai käyttämällä molemmissa kuvakartoissa samaa päällekkäis-pintamateriaalia. (kuva 45).



Kuva 45. Materiaalien sävyjen yhtenäistäminen.

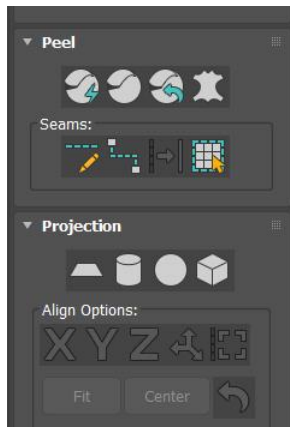


## 1.21 Keihään pohjan materiaalisointi



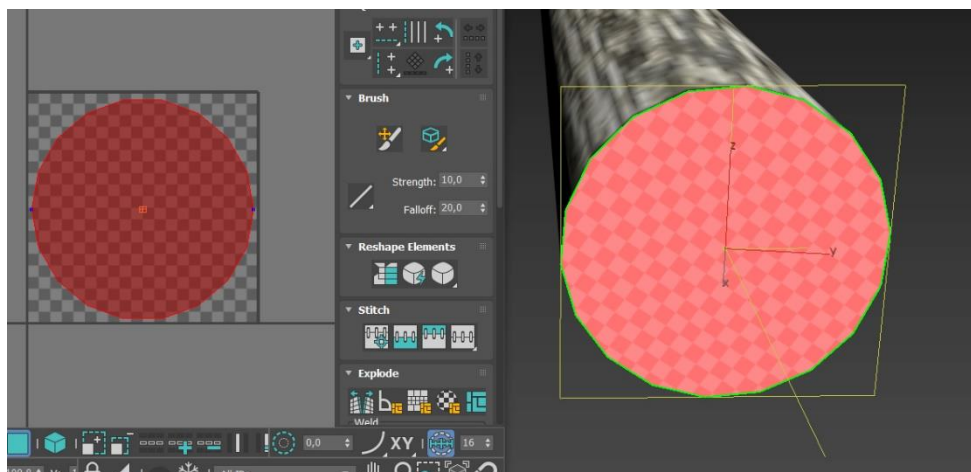
Kuva 46. Sylinterin pohja valitaan materiaalisoinnista varten.

Pohja valitaan ja kopioidaan (kuva 46), kopio siirretään pois alkuperäisen pohjan kohdasta vain sen verran, etteivät ne ole päällekkäin, mutta kuitenkin pohjan edessä.



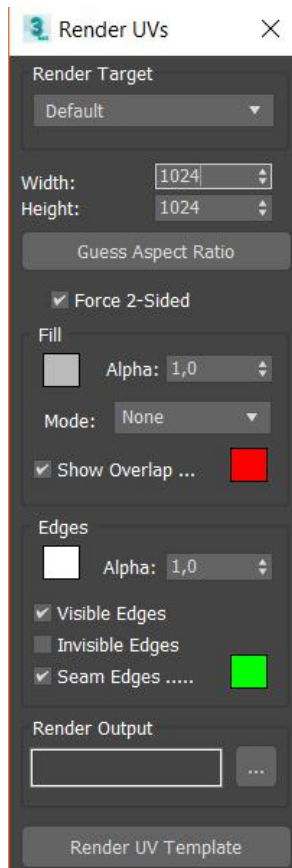
Kuva 47. UVW-kartan tason asettelu työkalut.

Välillä materiaali ei asetu asettamatta tiettyjä ehtoja objektin muodolle, tässä auttavat työkalut (kuva 47). Pohja on yksitasoinen, siinä ei siis ole syvyyttä. Projection työkalut eivät tässä tapauksessa toimi, saadakseen kuvan 48 mukaisen tuloksen, on käytettävä peel työkalua.

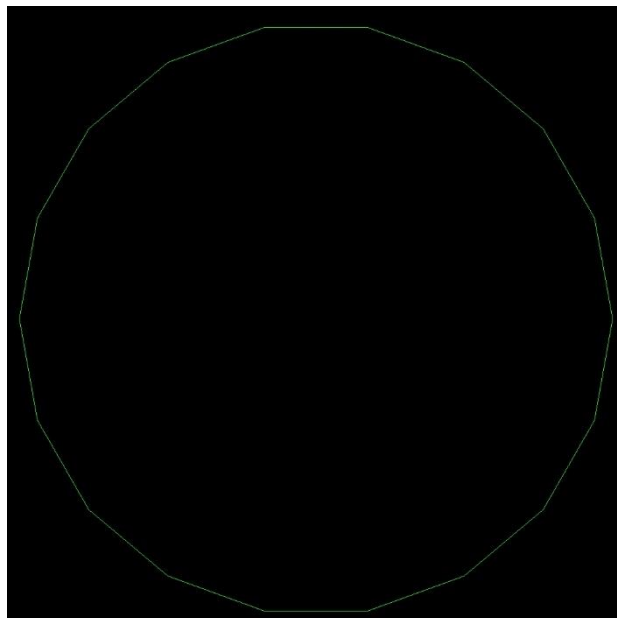


Kuva 48. Pohjassa on kuori, johon UVW kartta toimii hyvin.

Kuorinta toimi ja tulos oli valmis (kuva 48) ilman skaalaustyökalujen käyttöä editorissa, eli shakkikuvio on 1:1.

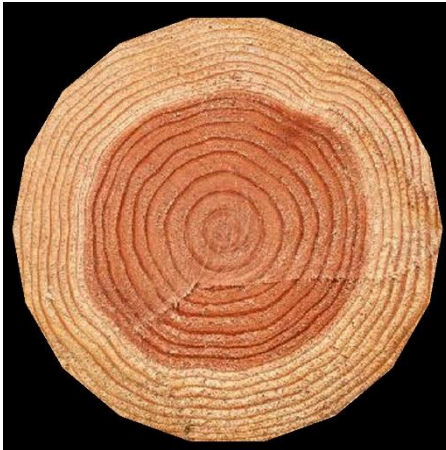


Kuva 49. Renderöinti asetukset pohjan materiaalille.



Kuva 50. Kuvassa pohjan renderöity kuva.

Kuvan korkeus- ja leveysarvot voi pitää vakiona 1024 (kuva 49), koska kuva ei ole suuri, tällä kuva koolla tarkkuus on riittävä. Renderöity kuva on sylinterin pohjan muotoinen, pyöreähkö vihreä kehys (kuva 50).



*Kuva 51. Wireframen päälle Photoshopattu kannon kuva.*



*Kuva 52. Näkymä 3D-max renderöidystä keihäänvarren pohjasta.*

Pohjan wireframe kuva muokataan photoshopissa (kuva 51), pohjan materiaalina käytetään kannon kuvaa. Vanhemman puun ulkonäköön päästään, kun kuvalle tehdään vielä sävy/kylläisyys tasomaski, näin pohja sopii yhteen varren kanssa (kuva 52). Keihään varsi- ja kärki yhdistettynä 3D-ma- xissa (kuva 53)



*Kuva 53. Kuva renderöidystä keihästä, jonka kärki- ja varsiosa on yhdistettynä 3D-maxissa.*

## 8. SUOMEN METSÄSTYSMUSEON TROFEEHUONE -PROJEKTIN KÄYTÄNTÖ

Opinnäytetyön toisessa osiossa työtä käydään läpi kokonaisen huoneen mallintaminen kuvista vaihevaiheelta. Käsitellään kuvien ottaminen kokonaisuudessaan, valaistuksen säätäminen tilassa ja valkobilanssin asettaminen kameraan. Tavoitteena on saada sellainen malli valmiiksi, jota voi jatko

jalostaa museon tarpeisiin sopivaksi. Kuvat käydään läpi tarkasti, tarkentaen yksityiskohtiin ja valitaan pois epäselvät ja sumuiset kuvat.

Malliin lisätään materiaali, valaistaan se ja renderöidään tarkentavia kuvia yksityiskohdista. Tämän jälkeen siirretään ohjelmalle, jolla video huoneen 3D-mallista renderöidään tarkasteltavaksi asiakkaalle.

Projektin työn osioiden läpikäynnin lisäksi tarkoitus on tarkastella mahdolliset ongelmakohdat; mitkä toimintatavat olivat hyviä, miksi on käytetty eri ohjelmistoja kuin ensimmäisessä vaiheessa ja miten koko projekti olisi voinut epäonnistua kokonaisuudessaan. Opinnäytetyössä on aikaisemmin käyty läpi käsittely-ympäristö ja esitelty työssä käytetty ohjelmisto.

## 1.22 Valaisu ja valkotasapaino

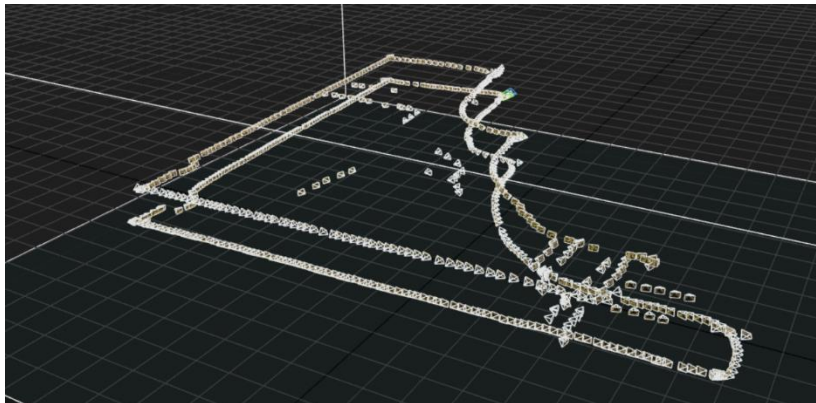
Huoneessa oli 3 mahdollisuutta valaisemiseen; kohde valot, pienet käännettävät lamput jotka selkeästi olisivat häirinnyt kuvaamista, mahdollisesti jopa pilannut kuvan. Toinen vaihtoehto oli loisteputki valaistus, joka on siivousvaloiksi tarkoitettu, huomattavasti hämärämpi, mutta tarkistaessa kameranalta, selkeästi vähemmän heijastusta ja muita häiriöitä tuottava. Huoneessa oli yksi loisteputki lamputa rikki, tämä korjattiin, jotta nurkka, jossa lamppu oli rikki, saataisiin riittävän valaistuksi. Väriin lämpötila huoneessa oli n.2700 ja 3000K luokkaa, pelkona tässä alhaisessa valaistuksessa, oli selkeä aaltomainen statistinen häiriö kameran näytössä, tilaa tarkasteltaessa. Lopputuloksessa ei kuitenkaan ollut huomattavissa staattista häiriötä, eikä kuvia tarkastaessa näkyneet vikoja. Valkobalanssi säädettiin manuaalisesti (kuva 54), valkoisesta paperista otetusta kuvasta, muistutuksena että kuva otetaan tilan valaistuksessa, tämän toiminnan kamera asetuksissaan mahdollistaa. Kamera pystyy säätämään kuvan perusteella tilan valkobilanssin, eikä manuaalista säätöä tarvinnut tämän lisäksi tehdä.



Kuva 54. kuvausvalikko 2, valitaan Mukautettu valkotasapaino (Adair King Julie.)

### 1.23 Huoneen kuvaaminen

Kuvaamiseen käytettiin selkeseinää vasten tekniikkaa (kuva 21), seuraten mahdollisimman lähellä reunoja ja korokkeita, joita näytteillepanoa varten, on rakennettu huoneeseen. Parempaan yksityiskohtaisuuteen päästään ottamalla kuvia erikseen ahtaista kulmista (kuva 55), joihin kameralla linjoja seuraamalla, ei riittävän tarkasti päästä.



Kuva 55. Suomen metsästysmuseon Trofeehuoneesta otettujen kuvien workflow RealityCapturessa.

Huoneesta otettiin kaksi sarjaa, lattian tasolta, katon ja seinän keskiväliltä ottaen mukaan myös katon yksityiskohtia, kuten ilmastointiputket, lamput. Ensimmäinen rivi sisälsi 396 kuvaa, toinen rivi taas oli 272 kuvaa. Ensimmäinen rivi sisälsi enemmän kuvia, koska tässä rivissä otettiin enemmän tarkentavia kuvia huoneen ahtaista kulmista ja seinällä olevista yksityiskohdista.

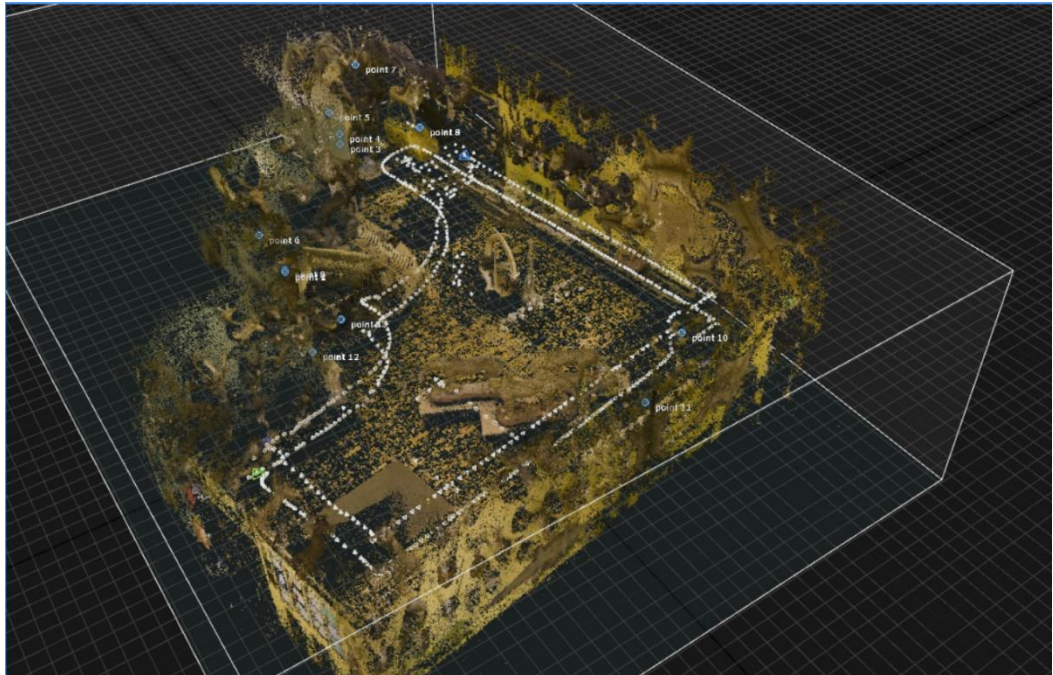
### 1.24 Huoneen mallintaminen

Toisin kuin keihään mallintamisessa, oli Recap photo ohjelman käyttö mahdollista. Sivustojen mukaan ilmakehämiseen on credittejä käyttämällä mahdollista tehdä mallinnus, rajana 1000 kuvaa, Autodeskin asiakaspalvelija ei tiennyt tätä mainostaessaan, ettei 1000 kuvan rajaa voi käyttää objektia luodessa. Heidän sivustollaan, on epäselvästi selvennettyä, ettei 300 kuvan rajaa objektivalinnassa ole mahdollista suurentaa, edes maksamalla lisenssiä. Useiden käytyjen keskusteluiden jälkeen asiakaspalvelun kanssa, totesin ettei ole järkeä jatkaa Recap photon käyttöä huoneen mallintamiseen. Ainoaksi vaihtoehdoksi olisi käynyt jakamalla mallintaminen useaan osaan, valiten jokaiseen 300 kuvaa, mikä olisi tehnyt mallin yhteen liittämisen siististi lähes mahdottoman.

Täten oli laajennettava mallinnusohjelmistoa, etsittävä vaihtoehtoinen ohjelmisto joka mahdollistaa useamman kuvan mallintamisen. Tähän löytyi, vielä kokeilu versiossa oleva RealityCapture. Haastavana tekijänä mallintamalla tällä ohjelmalla, on mallintaa se lokaalisti, omalla koneella. Mallinta-



minen on täysin oman koneen kyvyistä kiinni, joten mitä tehokkaampi näytönohjain, sitä nopeampi mallin käsittely 3D-malliksi ohjelmistolla on. Mallin tekeminen valmiiksi kesti noin 14 tuntia NVS 5400M näytönohjaimella, parempi näytönohjain tekee saman työn murto-osassa tästä ajasta.

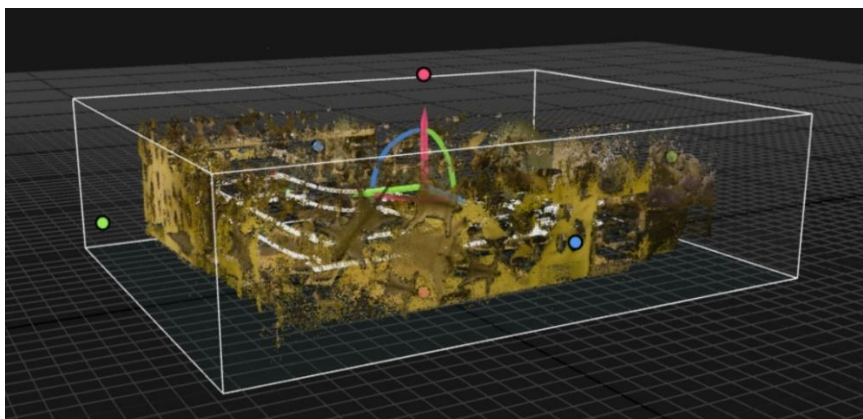


Kuva 56. Data pisteiden tarkastelutila RealityCapturessa.

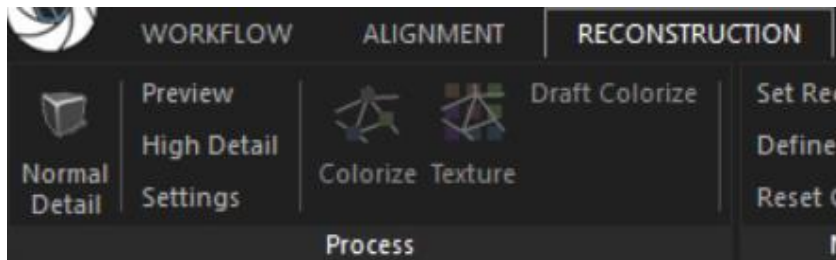
Kuvassa 56, näkyy kameroiden sijainti datapisteiden tarkastelutilassa. Tässä vaiheessa kuville on tehty linjaan asettelu, mikä tuottaa datapiste näkymän.

### 1.25 Rekonstruktio

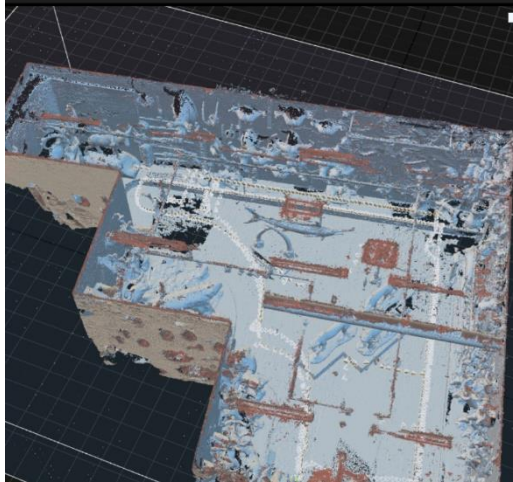
Alueen manuaalinen valinta määrittelee (kuva 57), mikä alue uudelleen rakennetaan. Kun alue mikä mallinnetaan, on määriteltä, voidaan kahden työkalun väliltä valita joko, normaali yksityiskohtaisuus, tai korkean tason yksityiskohtaisuus (kuva 58). Suositeltavaa ennen kumppaakaan valintaa, on tehdä esikatselu. Tuotoksesta ei tule hyvännäköinen, vaan tämän tarkoitus on nähdä, onko lopputuloksesta tulossa halutun näköinen.



Kuva 57. Datapiste näkymän käsiteltävän alueen valinta.

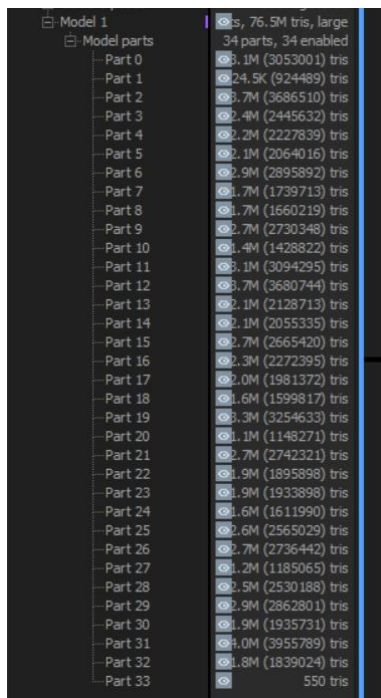


Kuva 58. Normaalin ja korkean yksityiskohtaisuuden painikkeet uudelleen rakennuksen valinta rivillä.



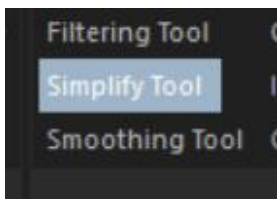
Kuva 59. Uudelleen rakennettu datapiste tila.

Nyt malli (kuva 59), on valmiina yksinkertaistamis- ja materiaalisointia prosessia varten. Prosessi tuottaa mallin koosta riippuen, usean osan jakaessaan tilaa pienempiin kokonaisuuksiin (kuva 60).



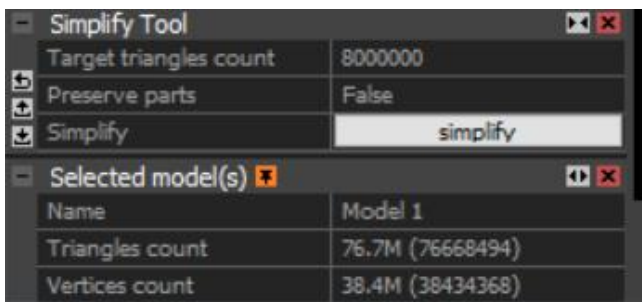
Kuva 60. Normaalin tarkkuuden tuotos, sisältää 33 osaa.

## 1.26 Yksinkertaistus ja materiaalisointi



Kuva 61. Yksinkertaistamisen valinta.

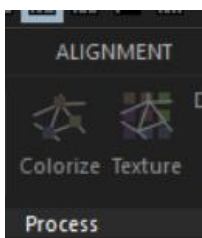
Kun valittu malli (kuva 60), tässä tapauksessa malli 1, on aktiivinen ja yksinkertaistamis- työkalu on valittu (kuva 61), tulee ohjelman vasempaan alareunaan työkalu (kuva 62). Valitaan haluttu määrä kolmioille, tässä pitää huomioida myös koneen maksimikapasiteetti, mitä enemmän muistia, sitä enemmän määrää voi nostaa, luku pidettiin vakiona, 8:ssa miljoonassa. Valintaikkuna, säilytetäänkö osat, on epätosi, näin saadaan osien lukumäärä 33, tiputettua 1 kappaleeseen (kuva 63). Edellisen mallin voi poistaa ja jättää vain yksinkertaistetun mallin voimaan, poisto tapahtuu punaisesta raksista painamalla.



Kuva 62. Yksinkertaistamisen työkalu.



Kuva 63. Osien määrä mallissa on tiputettu 1 kappaleeseen, vajaaseen 8 miljoonaan kolmioon.



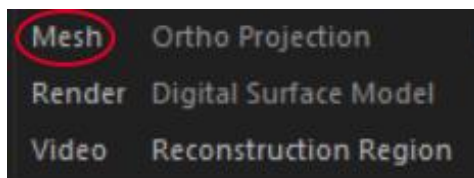
Kuva 64. Tekstuurin luominen.

Mallille tehdään tämän jälkeen uudelleen teksturointi (kuva 64), malli valitaan aktiiviseksi ja valitaan teksturointi työkalu. Teksturoinnin jälkeen malli näyttää kuvan 65 mukaiselta, malli on valmis tallennettavaksi.



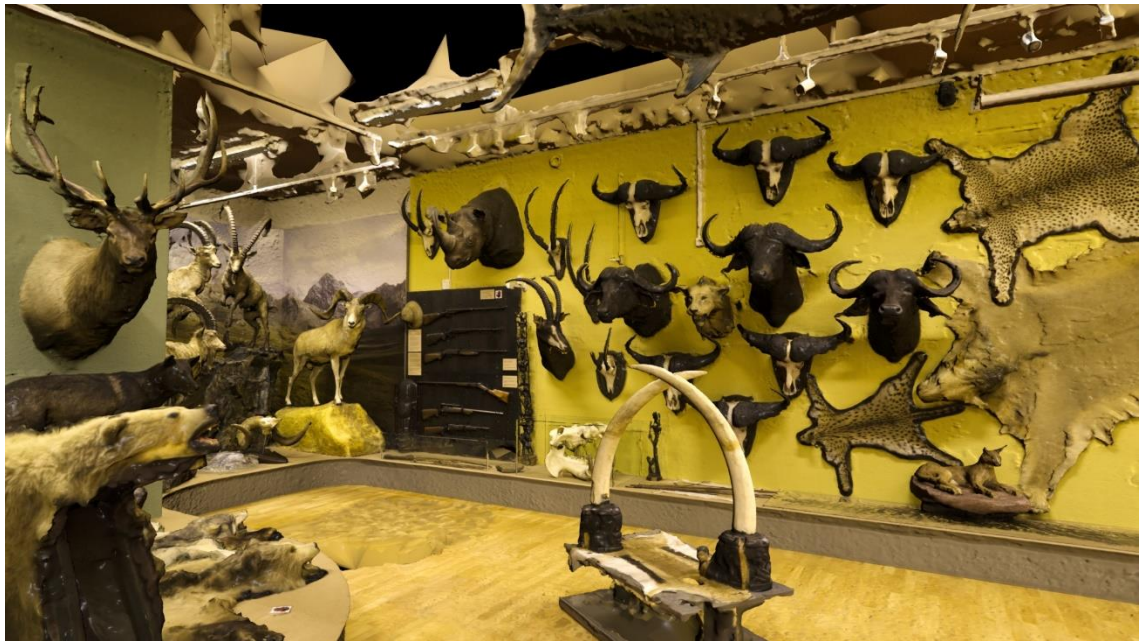


Kuva 65. Malli yksinkertaistamisen ja materiaalisoinnin jälkeen.

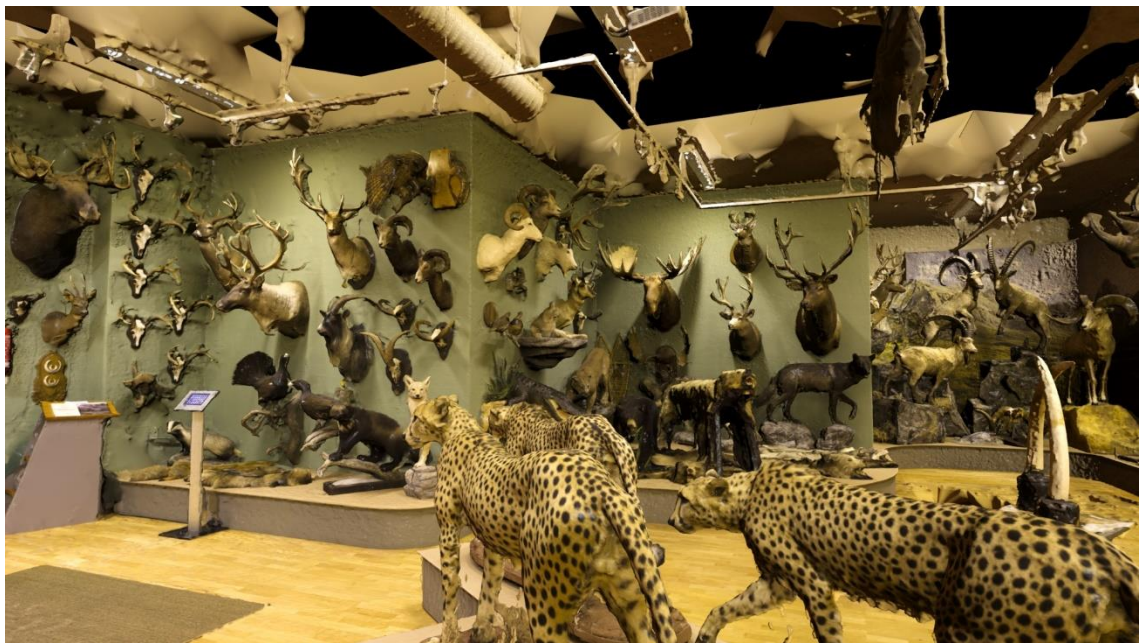


Kuva 66. Mesh valinta, tallentamista varten.

RealityCapturen jälkeen malli tallennetaan, tämä tapahtuu painamalla Mesh valintaa (kuva 66), tallennusmuodoksi valikoitui Wavefront obj. Kuvissa 67 ja 68, voi tarkastella lopputulosta lähemmin, kuvat renderöitiin 3D-Maxissa, materiaalina käytettiin Arnoldia.



Kuva 67. Mallista renderöity kuva 1.



Kuva 68. Mallista renderöity kuva 2.

## 9. TEHTYJÄ 3D MALLINUS PROJEKTEJA MUSEOILLE

### 1.27 Smithsonian 3D skannaukset Inka Stoneworksissa

Cusco, Perussa on monumentaalinen kivityö Inka-ajoilta. Mallinukset luotiin mahdollistamaan tämän historiallisen alueen nähtävyyksien tutkimisen myös etänä mutta myös säilyttämään historiaa. Tämä on yksi Smithsonianin museon pyrkimys kohti suurempaa kokonaisuutta luoda kokoelmista laajemmin saatavan. (Blundell, NMAI, 2016b)





Kuva 69. Inka-kivityön osa Hatunrumiocin kadulla, mukaan lukien 12-kulmainen kivi, joka kuvastaa Inkojen kuiva kivi muuraustekniikkaa (Blundell, 3D Scans of Inka Stonework—Live Online at SI X 3D, 2016a)

Kuvauksiin (kuva 69), käytettiin yhdistelmää laser ja fotogrammetria, tekniikkaa joka käyttää digitaalisia kameroita ja erikoistunutta ohjelmistoa luomaan 3D dataa, tallentamaan pintoja joissa jokaisessa on biljoonia 3D data pisteitä. (Blundell, NMAI, 2016b)

### 1.28 Hintze Hall, NHM London [surface model]

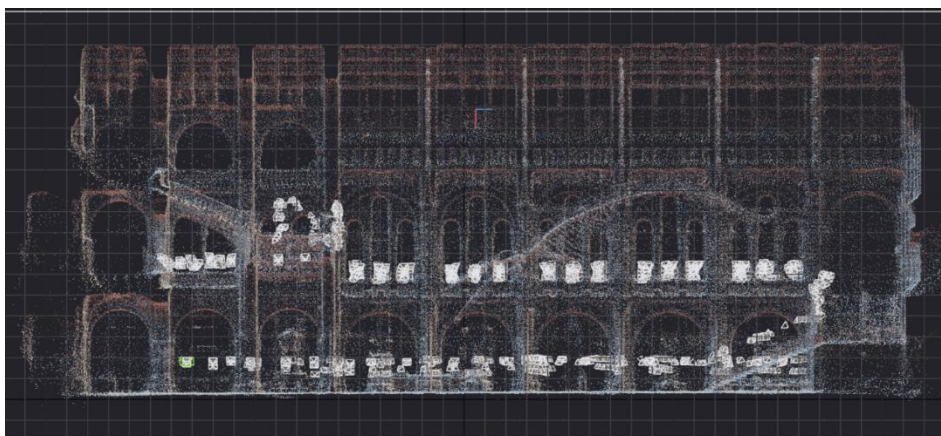


Kuva 70. Kuvakaappaus sivulta Sketchfab, Hintze Hall NHM Lontoo 3D-mallinnus (Flynn, Sketchfab, 2017c)

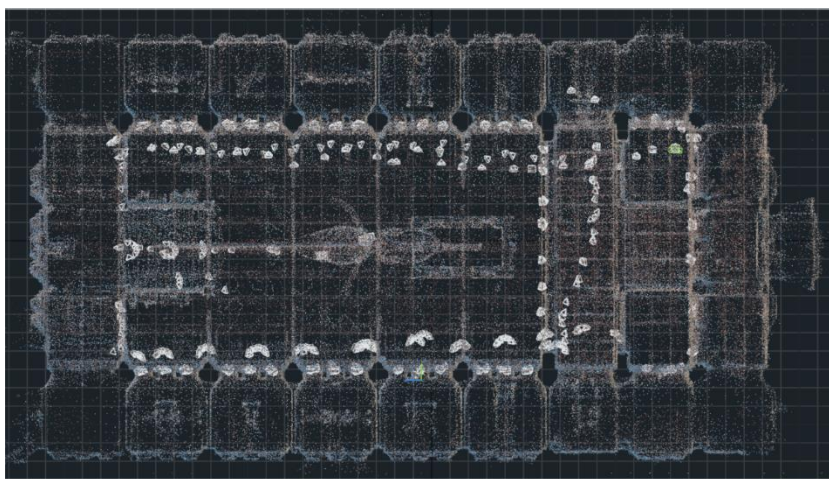
Sähköposti haastateltavaksi suostui, Rezan Has Museum työntekijä nimeltä Thomas Flynn. Työkseen hän tekee museon arvoesineiden 3D-Mallien tuottaminen. Aikaisemmat työnantajat hänellä ovat olleet muun muassa; British Museum, National Museums of Scotland, RMN Grand-Palais, RMO Leiden. (Flynn, Kulttuuriperintöjen 3D-mallien tuottaja historiallisissa museoissa, 2018b)

Kuvassa 70, on tehty 3D-Mallinnus käyttäen Canon G7x kameraa, asetuksina oli täysi automaatti, pidellen kameraa käsivaralla. Kuvia otettiin yhteensä 900 ja mallin työstämiseen RealityCapture ohjelmaa. (Flynn, Kulttuuriperintöjen 3D-mallien tuottaja historiallisissa museoissa, 2018b)

Kuvaustapana hän käytti seuraavaa tekniikkaa; lattiatasolla hän otti jokaisen pylväänkohdalla kuvia (kuva 72), noin 20 kappaletta, kattaen eri korkeudet- ja kulmat, kameran osoittaessa avoimeen tilaan. Tämän jälkeen kuvia otettiin parvekkeelta (kuva 71), toistaen prosessi. Haasteena työlle oli museon aukiolo, joten tilassa oli runsaasti ihmisiä kuvaustilanteen aikana, tämä hidasti työtä, koittaen parhaansa mukaan kattaa koko alueen. (Flynn, Kulttuuriperintöjen 3D-mallien tuottaja historiallisissa museoissa, 2018b)



Kuva 71. Hintze Halli piste tilassa, sivusuunnasta kuvattuna (Flynn, Hintze Hall, NHM London [surface model]., n.d.a)



Kuva 72. Hintze Halli piste tilassa, ylhäältä (Flynn, Hintze Hall, NHM London [surface model]., n.d.a)

Thomas Flynnin mukaan avaintekijänä fotogrammetria tekniikan käyttämiin museoissa on esittää museon kokoelma 3D:nä - se on uusi tapa esittää esineitä verkossa vieraileville asiakkaille. Jotkut museot käyttävät fotogrammetria tekniikkaa tallentamaan, tai dokumentoimaan artefaktien nykyistä kuntoa. Tapaa voidaan myös hyödyntää tuottamaan kiinnikkeitä, jotta artefaktit voidaan ripustaa täydellisesti galleriaan näyttille. (Flynn, Kulttuuriperintöjen 3D-mallien tuottaja historiallisissa museoissa, 2018b)

Maailmassa on yli 600 museota, jotka jakavat tuotoksia kultureellisesta perimästä Sketchfab sivustolla tällä hetkellä. Monet museot ovat löytämässä fotogrammetrian tapana tuottaa 3D-mallinnuksia, jotkut haluavat jakaa ne verkossa, jotkut antavat luvan vapaaseen lataamiseen ja 3D-mallien käyttämiseen, mutta on museoita jotka rajoittavat ne lisensseillä, jos mallinnuksia käytetään kaupalliseen tarkoitukseen. (Flynn, Kulttuuriperintöjen 3D-mallien tuottaja historiallisissa museoissa, 2018b)

Eryteisesti tässä mallinnuksessa minua kiehtoi tapa merkitä mallissa huomion arvoiset kohteet ja kuinka niissä kerrottiin yksityiskohtaisemmin esineen historiasta. Tätä samaa tekniikka voisi hyödyntää myös metsästysmuseon 3D-mallissa, jossa verkossa vieraileva asiakas pystyisi liikkumaan tilassa vapaasti. Asiakas voisi käydä kohteita läpi ja lukea tietoa eri eläimistä ja missä maassa kyseinen eläin on pyydystetty. Bonuksena mallinnuksen sisällä voisi luoda animaatioita, jossa eläimet liikkuvat hieman tai äänimaailma katsottaessa eläimeen, se päästää ääninäytteen.

## 10.YHTEENVETO

Olen tyytyväinen mallien lopputulokseen ja niin on myös asiakas, varsinkin keihään suhteen. Huoneen mallinnuksessa oli asioita joita voisi tehdä paremmin kuvauksissa, mutta tekniikka ei ole aukoton, eikä täydellisyyttä saa, ainakaan helposti käyttämällä yhtä kameraa. Tämän faktan tiedostaessa lopputulos huoneelle oli erittäin hyvä. Huoneen mallinnus työtä tarvitsee jatkojalostaa, jos halutaan mallista pelimoottorissa toimiva, visuaalisesti kaunis mallinnus jossa asiakas voi katsella huonetta virtuaalilasien kera. Toinen vaihtoehtoinen tapa olisi katseluikkuna, jossa mallin sisällä voi hiirellä siirtyä eri kohtiin huonetta.

3D-mallin tuottaminen kuvista tuo oman haasteensa, moni asia pitää huomioida ennen kuvaamista ja sen aikana. Tärkeää on varmistaa kamerasetukset ja huomioida, että siirtäessä kameraa voivat varjot, väri- ja valoisuus muuttua tilassa. Yksittäistä objektiakin kuvatessa voi huomata kääntäessä esineen selkäpuolelle, ettei valoisuus riitä ja kuvaus epäonnistuu. Opinnäytetyötä tehdessäni opin, että kuvaustekniikoita on yhtä paljon

kuin tekijöitä, eikä yhtä oikeaa tapaa ole. Työnkulkua tehdessäni, opin paljon fotogrammetria tekniikan teoriasta, kameran asetuksista ja ohjelmistojen käytöstä.

Tilan mallintaminen oli bonus ja syvensi opittuja metodeja, haastaen samalla teknisesti. Kuvien määrä lisääntyi huomattavasti ja kuvaustilanteissa joutuu käyttämään paljon aikaa hienosäätöön ja tarkkuuteen. Asiakkaalla oli myös maksavia asiakkaita tulossa päivän aikana katsomaan tilassa olevaa näyttelyä, eikä tilaa voinut pitää suljettuna pitkään, tämä vähensi kuvaamiseen käytettävää aikaa.

Tekstuuri ja materiaalisoinen ovat haastavia aihealueita, niillä voi vaikuttaa paljon visuaaliseen lopputulokseen, mutta vaatii panostamista aiheeseen, jotta lopputulos olisi halutunlainen. Itse työ oli luoda 3D-objekti kuvista käyttäen fotogrammetriaa, mutta materiaalisoinen liittyy tuotteen esittelyyn asiakkaalle, tällä tavalla tuotteesta saadaan myyvän näköinen ja asiakas saa kuvaa siitä, miltä tuote näyttää pelimoottorissa. Keihään materiaalisoinen onnistui hyvin, kun lopulta UV-kartoitus hoidettiin manuaalisesti, automaattisen materiaalikartan käytön sijasta.

Parasta työssä oli päästä käyttämään tekniikkaa, jota pintapuolisesti koulussa tunnilla oli opeteltu. Siihen liittyy paljon muita seikkoja, jotka vetivät minua puoleensa opinnäytetyön aiheen valinnassa. Näitä seikkoja on graafinen ymmärtäminen, kuvaamisen hallitseminen ja mallinnustyökalujen käyttäminen.

## LÄHTEET

Abby, C. (2015.). Archaeologist, illustrator. *How to set up a successful photogrammetry project*. sketchfab. Haettu 23. 3 2018 osoitteesta <https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project/>

Adair King Julie., C. R. (ei pvm). Display Shooting Menu 2 and choose Custom White Balance. *How to Create a Custom White Balance Setting on the Rebel t5i*. Haettu 23. 4 2018 osoitteesta <http://www.dummies.com/photography/cameras/canon-camera/how-to-create-a-custom-white-balance-setting-on-the-rebel-t5i/>

ADAM Technology. (2009.). *The American Surveyor*. Haettu 13. 3 2018 osoitteesta [https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwipvd\\_ZlunZAhXFbZoKHX0mBUEQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.amerisurv.com%2Fdocs%2FADAMTechTraining2009.ppt&usg=AOvVaw29vQViqvYZzHucoam4sDTu](https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwipvd_ZlunZAhXFbZoKHX0mBUEQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.amerisurv.com%2Fdocs%2FADAMTechTraining2009.ppt&usg=AOvVaw29vQViqvYZzHucoam4sDTu)

Adobe. (31. 7 2017). *Adobe*. Haettu 11. 4 2018 osoitteesta Correct lens distortions in Camera Raw: <https://helpx.adobe.com/creative-suite/using/correct-lens-distortions-camera-raw.html>

Blundell, J. (2016a). *3D Scans of Inka Stonework—Live Online at SI X 3D*. Smithsonian X 3D, Peru. Haettu 23. 3 2018 osoitteesta <http://blog.nmai.si.edu/main/2016/02/10/>

Blundell, J. (10. 2 2016b). *NMAI*. (NMAI, Tuottaja;& Smithsonian X 3D) Noudettu osoitteesta *3D Scans of Inka Stonework—Live Online at SI X 3D*: <http://blog.nmai.si.edu/main/2016/02/10/>

Crawford, A. (18. 6 2015). *Sketchfab*. Haettu 9. 3 2018 osoitteesta How to set up a successful photogrammetry project: <https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project/>

Flynn, T. (2017c). Sketchfab. *Hintze Hall, NHM London [surface model]*. Rezan Has Museum, Lontoo, Englanti. Haettu 26. 4 2018 osoitteesta <https://sketchfab.com/models/b2f3e84112d04bf1844e7ac2c4423566>

Flynn, T. (23. 4 2018b). Kulttuuriperintöjen 3D-mallien tuottaja historiallisissa museoissa. (J.-P. Halttunen, Haastattelija) Lontoo, Englanti. Haettu 26. 4 2018 osoitteesta <https://sketchfab.com/nebulousflynn>

Flynn, T. (n.d.a). *Hintze Hall, NHM London [surface model]*. Sketchfab, Lontoo, Englanti. Haettu 26. 4 2018 osoitteesta <https://sketchfab.com/models/b2f3e84112d04bf1844e7ac2c4423566>



Guillaume, H.-L. (14. 3 2018). Photogrammetry Group, Facebook foorumib. Haettu 15. 3 2018

Holmes, M. (n.d.a). *Instructables*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta Shooting for Photogrammetry: <http://www.instructables.com/lesson/Shooting-for-Photogrammetry/>

Holmes, M. (n.d.b). Shooting for Photogrammetry. *plywood and long nail in center*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta <http://www.instructables.com/lesson/Shooting-for-Photogrammetry/>

Kuzmin, V. (5. 3 2018). *80.lv*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta Full Photogrammetry Guide for 3D Artists: <https://80.lv/articles/full-photogrammetry-guide-for-3d-artists/>

Lim, R. (n.d). *photography concentrate*. Haettu 11. 4 2018 osoitteesta 10 Reasons Why You Should Be Shooting RAW: <https://photographyconcentrate.com/10-reasons-why-you-should-be-shooting-raw/>

Luthi, V. (2017a). *Indoor Mapping Game Plan*. Mosini Caviezel SA, Sveitsi. Haettu 16. 3 2018 osoitteesta <https://pix4d.com/indoor-mapping-game-plan/>

Luthi, V. (2. 2 2017b). *pix4d*. Haettu 16. 3 2018 osoitteesta Indoor Mapping Game Plan: <https://pix4d.com/indoor-mapping-game-plan/>

Magicien, J. L. (14. 3 2018). Photogrammetry Group, Facebook foorumia. Haettu 15. 3 2018

Mairlot, R. (16. 8 2015a). *Blender Stack Exchange*. Haettu 20. 4 2018 osoitteesta What does unwrapping a model do and why is it important?: [https://blender.stackexchange.com/questions/38651/what-does-unwrapping-a-model-do-and-why-is-it-important?utm\\_medium=organic&utm\\_source=google\\_rich\\_qa&utm\\_campaign=google\\_rich\\_qa](https://blender.stackexchange.com/questions/38651/what-does-unwrapping-a-model-do-and-why-is-it-important?utm_medium=organic&utm_source=google_rich_qa&utm_campaign=google_rich_qa)

Mairlot, R. (2015b). *What does unwrapping a model do and why is it important?* Blender Stack Exchange. Haettu 2. 5 2018 osoitteesta [https://blender.stackexchange.com/questions/38651/what-does-unwrapping-a-model-do-and-why-is-it-important?utm\\_medium=organic&utm\\_source=google\\_rich\\_qa&utm\\_campaign=google\\_rich\\_qa](https://blender.stackexchange.com/questions/38651/what-does-unwrapping-a-model-do-and-why-is-it-important?utm_medium=organic&utm_source=google_rich_qa&utm_campaign=google_rich_qa)

Matthews, N. A. (n.d.). Illustration of the Camera Positions from a photogrammetry image capture. *3D Technologies*. Haettu 12. 3 2018 osoitteesta <https://www.si.edu/MCIIImagingStudio/3DTechnologies>

McCue, T. (18. 10 2016). *Lifewire*. Haettu 9. 3 2018 osoitteesta What is photogrammetry?: <https://www.lifewire.com/what-is-photogrammetry-2250>

Melvin J. Wachowiak, B. V. (n.d). *Smithsonian*. Haettu 12. 3 2018 osoitteesta 3D Technologies: <https://www.si.edu/MCIIImagingStudio/3DTechnologies>

Obscura, A. (n.d.a). *Instructables*. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta Important Camera Settings: <https://www.instructables.com/lesson/Important-Camera-Settings/>

Obscura, A. (n.d.b). *Instructables*. Haettu 23. 3 201 osoitteesta Artificial Lighting: <https://www.instructables.com/lesson/Artificial-Lighting/>

Phan, A. (13. 9 2017). *Autodesk*. Haettu 12. 3 2018 osoitteesta Introducing Recap Photo: <http://blogs.autodesk.com/recap/introducing-recap-photo/>

*Photogrammetry*. (n.d). Haettu 9. 3 2018 osoitteesta what is Photogrammetry: <http://www.photogrammetry.com/>

(2015.).Photography – Basic Image Distortion Types. *PHOTOSHOP IMAGE DISTORTION TUTORIAL – BASIC & COMPLEX TYPE REMOVAL*. tehnoBlog. Haettu 11. 4 2018 osoitteesta <https://tehnoBlog.org/photoshop-tutorial-how-to-remove-image-distortion/>

Reed Business. (2007). *Isprs*. Haettu 13. 3 2018 osoitteesta The Photogrammetry Education for Multidisciplinary Geomatics in China: <http://www.isprs.org/publications/highlights/highlights1007/congress-photogrammetry.html>

Savvides, L. (3. 12 2014). *c/net*. Haettu 15. 3 2018 osoitteesta How to use the depth-of-field preview button on your dSLR: <https://www.cnet.com/how-to/how-to-use-the-depth-of-field-preview-button-on-your-dslr/>

Smithsonian X 3D. (13. 11 2013). *Youtube*. Haettu 11. 4 2018 osoitteesta Smithsonian X 3D - What is 3D Digitization?: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=3&v=CkoEbnxxXXg](https://www.youtube.com/watch?time_continue=3&v=CkoEbnxxXXg)

Upadhyay, N. (2014a). Author and Admin @ GIS Resources. *Basics of Photogrammetry*. Division of Agricultural Physics, Delhi. Haettu 21. 3 2018 osoitteesta [http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry\\_2/](http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/)

Upadhyay, N. (3. 1 2014b). *gisresources*. (Division of Agricultural Physics, Indian Agricultural Research Institute) Haettu 21. 3 2018 osoitteesta Basics of Photogrammetry: [http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry\\_2/](http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/)

VB, L. (n.d.a). *Wikipedia*. Haettu 11. 4 2018 osoitteesta Point cloud: [https://en.wikipedia.org/wiki/Point\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud)

*Wikipedia*. (n.d.b). Haettu 20. 4 2018 osoitteesta UV mapping: [https://en.wikipedia.org/wiki/UV\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping)

*Wikipedia*. (n.d.c). Haettu 20. 4 2018 osoitteesta Adobe Photoshop:  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Adobe\\_Photoshop](https://fi.wikipedia.org/wiki/Adobe_Photoshop)

*Wikipedia*. (n.d.d). Haettu 20. 4 2018 osoitteesta RealityCapture:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/RealityCapture>

*Wikipedia*. (n.d.e). Haettu 26. 4 2018 osoitteesta Wavefront .obj file:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront\\_.obj\\_file](https://en.wikipedia.org/wiki/Wavefront_.obj_file)

*Wikipedia*. (n.d.f). Haettu 20. 4 2018 osoitteesta Autodesk 3ds Max:  
[https://fi.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_3ds\\_Max](https://fi.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max)

*Wikipedia*. (n.d.g). Vertex normals of a dodecahedral mesh. *Vertex normal*.  
Haettu 26. 4 2018 osoitteesta [https://en.wikipedia.org/wiki/Vertex\\_normal](https://en.wikipedia.org/wiki/Vertex_normal)