

3D-mallin tuottaminen fotogrammetriaa hyödyntäen

Toteutettu Suomen Metsästysmuseolle



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeen ammattikorkeakoulu, Tieto- ja viestintätekniikka

Riihimäki, syksy 2019

Jonas Terttula

Tieto- ja viestintäteknikka
Riihimäki

Tekijä	Jonas Terttula	Vuosi 2019
Työn nimi	3D-mallin tuottaminen fotogrammetriaa hyödyntäen	
Työn ohjaaja/t	Antti Laakso	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia fotogrammetria tekniikan mahdollisuuksia ja rajoitteita 3D-mallinnuksessa. Työhön kuuluu rakentaa sopiva valokuvausympäristö, perehtyä valokuvaamisen perusteisiin, tutkia minikälaiset kappaleet ovat parhaiten soveltuvia fotogrammetrialla mallinnettaviksi ja tuottaa valokuvista 3D-malleja.

Fotogrammetria on mittaustekniikka, jossa valokuvista tehdään kolmiulotteisia mittauksia. Mittausten pohjalta pystytään esimerkiksi rekonstruoidaan kuvattavan kohteen kolmiulotteiset muodot. Fotogrammetriaa hyödynnetään esim. maaston kartoituksessa, monumenttien visualisoinnissa ja peliasettien luonnissa.

Mallinnettavat kappaleet ovat peräisin Suomen Metsästysmuseolta. Jo-kaista kappaletta varten on erikseen säädettävä kameran asetukset sopiviksi. Kappaleiden ominaisuudet, kuten pinnan yksityiskohdat ja valon heijastus, vaikuttavat merkittävästi 3D-mallien laatuun. Parhaiten fotogrammetrian avulla mallinnettavia kappaleita ovat ulkomuodoiltaan yksinkertaiset, mutta yksityiskohdiltaan moninaiset kappaleet, joissa ei ole läpinäkyvyyttä tai valon heijastuvuutta pinnassa. Esimerkiksi puusta tai kivistä tehdyt kappaleet yleensä toimivat parhaiten.

Avainsanat 3D-mallinnus, fotogrammetria, valokuvaus

Sivut 27 sivua

Information and Communication Technology
Riihimäki

Author	Jonas Terttula	Year 2019
Subject	Creating a 3D-model using photogrammetry	
Supervisors	Antti Laakso	

ABSTRACT

The purpose of this project was to study the photogrammetry technique and the possibilities and restrictions it offers. The project involved building an environment for taking photographs, exploring the basics of photography, studying objects best suited to be modeled with photogrammetry and producing 3D-models out of photographs.

Photogrammetry is a measurement technique in which three dimensional measurements are transferred to photographs. Based on the measurements, an object's three-dimensional shapes are reconstructed. Photogrammetry is used, for example, in mapping terrain, visualizing monuments and creating game assets.

The objects to be modeled in this project were acquired from the Finnish Hunting Museum (Suomen Metsästysmuseum). The camera settings must be adjusted for each object separately. The properties of the objects, such as surface details and light reflectance, significantly impact the quality of the 3D models. The best objects that can be modeled using photogrammetry are those that are simple in appearance but varied in detail and have no transparent parts or light reflection on the surface. For example, pieces made of wood or rock generally work best.

Keywords 3D-modeling, photogrammetry, photography

Pages 27 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TEORIA.....	2
2.1	Fotogrammetrian määritelmä.....	2
2.2	Fotogrammetrian periaatteet.....	2
2.2.1	Kolmiomittaus.....	2
2.2.2	Kuvien päällekkäisyys.....	3
2.2.3	Teknologiset rajoitukset.....	3
2.2.4	Fotogrammetrian käyttöalat.....	4
2.3	Fotogrammetria verrattuna 3D-skannaukseen.....	5
2.4	Valokuvaamisen periaatteet.....	5
2.4.1	ISO-arvo.....	6
2.4.2	Aukko.....	7
2.4.3	Suljinaika.....	8
2.4.4	Valkotasapaino.....	8
3	KUVAUSYMPÄRISTÖN RAKENTAMINEN.....	9
4	VALOKUVAUS.....	10
5	VALOKUVISTA 3D-MALLIKSI.....	12
6	LOPPUTULOKSET.....	14
6.1	Metsästystorvi.....	14
6.2	Puinen lintu.....	14
6.3	Karhunrauta.....	15
6.4	Ihmispatsas.....	15
6.5	Muoviset sarvet.....	17
6.6	Metsästysreppu.....	18
6.7	Hylsy.....	18
6.8	Hauli.....	20
6.9	Miekka.....	21
6.10	Metsästyspilli.....	21
6.11	Parhaiten ja heikoiten onnistuneet mallit.....	22
7	YHTEENVETO.....	24
	LÄHTEET.....	26

1 JOHDANTO

Fotogrammetria on mittaustekniikka, jossa kaksiulotteisista valokuvista tehdään kolmeulotteisia mittauksia. Kahden pisteen paikat kolmeulotteisessa koordinaatistossa voidaan määrittää laskemalla pisteiden etäisyydet ja ottamalla huomioon skaalauskerroin. (Renella, 2017)

Monet nykypäivien kartoista on tehty fotogrammetriaa hyödyntäen. Ilma-kuvauksessa kamera liitetään lentokoneeseen osoittamaan pystysuoraan maahan. Koneen lentäessä alueen yli, kamera ottaa monia päällekkäisiä kuvia. Kuvat käsitellään tietokoneohjelmilla, jolloin saadaan digitaalinen maastomalli. (Pillai, 2015)

Toinen fotogrammetrian osa-alue on maanpäällinen- tai lähikuva-alueen fotogrammetria. Tällöin kamera on maassa ja kuvataan joko käsin tai kolmijalkaa käyttäen. Tavallisia kuvauskohteita ovat mm. rakennukset, onnettomuuspaikat, arkeologiset esineet ja kaivokset. (Walford, n.d.) Käytän tätä fotogrammetrian osa-aluetta omassa työssäni.

Tämän työn tarkoituksena on tutkia fotogrammetriaa 3D-mallien tuottamiseen ja rakentaa kuvausympäristö sisätiloissa, jossa pystyy tuottamaan laadukkaita kuvia. Kuvausympäristön tulee olla sen verran yksinkertainen, että sen pystyy ohjeita seuraamalla uudelleenrakentamaan mm. työpaikalle tai kotiin.

Käytännön osuus alkaa kuvausympäristön rakentamisella. Ympäristön valmistuttua alkaa itse kappaleiden kuvaus. Työn kuvattavat kohteet ovat peräisin Suomen Metsästysmuseolta. Kohteet ovat hyvin erilaisia, jotta voidaan hyvin päätellä minkälaiset esineet ovat parhaiten soveltuvia fotogrammetrialla tuotettaviksi 3D-malleiksi. Kohteina on mm. puu-, metalli- ja muoviesineitä. Kuvaamisen jälkeen kuvista tuotetaan 3D-malli tietokoneohjelmia hyödyntäen.

Työssä ei keskitytä varsinaisesti valmiiden mallien jatkotyöstämiseen esim. pelimootoria tai 3D-printtaamista varten. 3D-mallit ainoastaan renderöidään lopuksi sopivassa ympäristössä.

2 TEORIA

2.1 Fotogrammetrian määritelmä

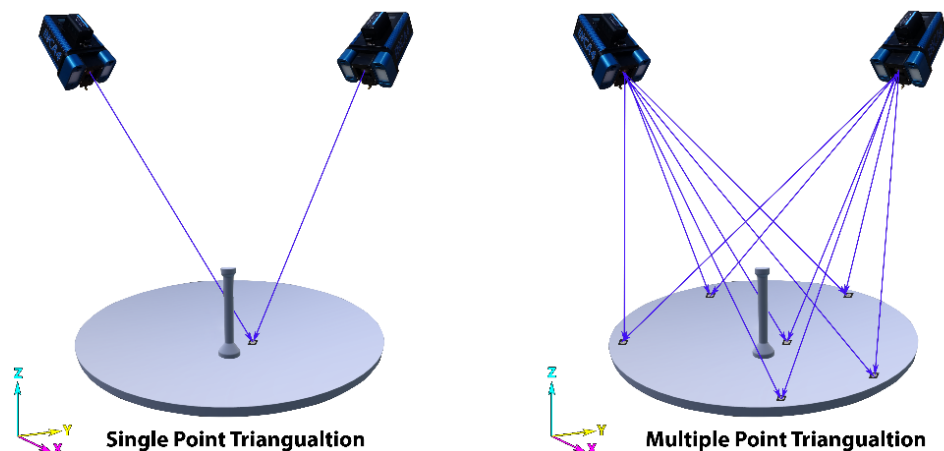
Sana fotogrammetria on lähtöisin kreikankielisistä sanoista phot, gramma ja metrein. Sanat käännettyinä suomeksi tarkoittavat valoa, piirrosta ja mittausta. Ensimmäisen kerran termiä käytti saksalainen maantieteilijä vuonna 1867 julkaistussa artikkelissa. Nykyään fotogrammetriaa käytetään yleisesti kartoituksessa, arkkitehtuurissa, geologiassa ja tekniikassa. (Coulombe, 2016)

2.2 Fotogrammetrian periaatteet

Fotogrammetrian päätarkoitus on muuntaa kaksiulotteiset valokuvat takaisin kolmiulotteiseen muotoon, tehden niistä 3D-mallin. Kun kolmiulotteisesta kohteesta otetaan kaksiulotteinen valokuva, siitä seuraa tietojen menetystä. Kaikki pisteet, jotka ovat kuvattavan kohteen takana, tai muuten näkymättömiä esim. kontrastin puutteen takia, ei tule näkymään lopullisessa mallissa. (Luhmann;Robson;Kyle;& Boehm, 2013)

2.2.1 Kolmiomittaus

Fotogrammetria hyödyntää kolmiomittausta määrittämään pisteen sijainnit kaikilla kolmella ulottuvuudella. Kun kohteesta otetaan kuvia vähintään kahdesta eri kuvakulmasta, voidaan muodostaa näköakselit kameroiden ja kohteen välille. Tätä havainnollistetaan kuvassa 1. Kameroiden sijainnin ja kuvauskulman avulla voidaan matemaattisesti laskea kohteen pisteiden X-, Y- ja Z-koordinaatit. (Geodetic Services, Inc., n.d.)



Kuva 1. Kolmiomittaus (Geodetic Services, Inc., n.d.)

2.2.2 Kuvien päällekkäisyys

Kuvattaessa kohdetta sen jokaisen pisteen tulisi näkyä vähintään kahdessa eri kuvassa. Tämä saadaan aikaan ottamalla useita kuvia hieman eri kuvakulmista, jotta kuvissa on tarpeeksi päällekkäisyyttä. Ideaalisesti kuvissa tulisi olla noin 60% päällekkäisyyttä, joka mahdollistaa tietokonesovelluksen löytämään yhteiset pisteet eri kuvien väliltä. Jos kuvattavassa kohdessa on monimutkaista topografiaa kuten reikiä tai ulkonemia, tulee ottaa tarpeeksi ylimääräisiä kuvia, jotta kaikki pinnan yksityiskohtat saadaan rekonstruoitua 3D-mallissa. (Sketchfab, 2015) Kuvassa 10 näkyy esimerkki, kuinka paljon päällekkäisyyttä olisi minimissään oltava yhdessä kuvakierroksessa.



Kuva 10. Karhunraudat kuvakierros.

2.2.3 Teknologiset rajoitukset

On tiettyjä rajoituksia, jotka estävät fotogrammetrian hyödyntämisen. Ensinnäkin kaikki kappaleen yksityiskohtat, jotka eivät ole näkyvillä kuvissa eivät tule myöskään lopulliseen 3D-malliin. Tämä vaikuttaa kaikkiin kappaleisiin, jotka kuvataan jonkun tason päällä, tehden kappaleiden alapuolelta ja kohdista, joissa kappale on kiinni tasossa vääristyneitä. On olemassa keinoja, joilla tätä ongelmaa paikataan, mm. kuvaamalla erikseen kappaleen ylä- ja alaosat ja yhdistämällä kuvat tietokonesovelluksella, mutta tämä on aikaa vievää ja heikoilla varusteilla ja taidoilla tehtynä tuottaa huonon laadun lopputulokseen. (360TECHPH, 2016)

Kappaleet, joiden pinnassa on hyvin vähän yksityiskohtia ja kappaleiden eri kohdat näyttävät samoilta tuottaa ongelmia. Sama ongelma on kappaleissa, joissa on paljon toistuvia osia tai kuvioita. Esimerkiksi kuvattaessa

robottia, jolla on monta samanlaista jalkaa voi tuottaa ongelmia tietokonesovelluksille ymmärtää mikä jalka on kyseessä. (360TECHPH, 2016)

Lisäksi rajoituksena on kappaleet, joiden pinta on läpinäkyvä, kiiltävä tai siitä heijastuu valoa kameraan. Tämän tyyliin kappaleisiin 3D-mallinnusta tehdessä tulee epämuodostumia ja puutoksia yksityiskohdissa. Myös kaikki kappaleet, jotka liikkuvat tai muuttavat muotoaan kuvausession aikana eivät ole soveltuvia fotogrammetrialla työstettäviksi. Esimerkiksi kuvattaessa vaatekappaletta voi sen muoto muuttua kuvauksen aikana, tehden siten ongelmia 3D-mallin tuottamisessa. (Laakso, 2016)

2.2.4 Fotogrammetrian käyttöalat

Fotogrammetrialle on mahdollista löytää monia käyttötarkoituksia. Fotogrammetriaa käytetään autojen, koneiden ja laivojen rakennusosalalla mm. osien mittaamiseen, valmistuksen valvontaan, optisen muodon mittaukseen, robottien kalibrointiin ja turvatestien analysointiin ja tallennukseen. Ilmailuteollisuudessa sitä käytetään mm. parabolisten antennien ja peilien mittaukseen, avaruus simulaatioihin ja komponenttien kokoonpanon hallintaan. Arkkitehtuurissa fotogrammetrialla voi esim. mitata julkisivuja, dokumentoida historiallisia rakennuksia, kartoittaa kaivauspaikkoja, mallintaa monumentteja ja veistoksia ja mitata epämuodostumia. Lääketieteessä ja fysiologiassa fotogrammetriaa hyödynnetään hampaiden mittauksessa, plastiikkakirurgiassa, neurokirurgiassa, tietokoneavusteisessa leikkauksessa ja selkärangan epämuodostumissa. Poliisityössä fotogrammetriasta voi olla apua rikos- ja onnettomuuspaikan tallentamisessa (kuva 2) sekä yksilöiden mittaamisessa. Animaatio- ja elokuva-alalla voidaan fotogrammetriaa hyödyntäen tehdä kehon muodon tallennusta, näyttelijöiden liikeanalyysia, 3D-elokuvia ja virtuaalitodellisuutta. Tietojärjestelmissä fotogrammetriaa käytetään laitteiston hallintaan, tuotannon suunnitteluun ja uusien järjestelmien rakentamiseen. (Luhmann;Robson;Kyle;&Boehm, 2013)



Kuva 2. Auton oveen luodinreikien kohdalle on laitettu merkit. Fotogrammetrian avulla voidaan laskea luotien reitit ja lähtöpisteet. (PhotoModeler Technologies, n.d.)

2.3 Fotogrammetria verrattuna 3D-skannaukseen

Fotogrammetrian lisäksi on olemassa muita tekniikoita luoda 3D-malleja. Yksi tällainen tekniikka on 3D-skannaus. Skannauksessa skanneri tallentaa kappaleesta miljoonia datapisteitä, joista tehdään vektoripistepilvi. Hankitun datan avulla saadaan tuotettua kolmiulotteinen malli. 3D-skannaus voidaan jakaa useaan alaluokkaan, kuten valo-ohjattuun- ja laserskannaukseen. (Karlzip, 2019)

Fotogrammetrialla ja 3D-skannauksella on molemmilla hyvät ja huonot puolensa. Fotogrammetria on pääasiallisesti halvempi keino toteuttaa 3D-mallinnus. Fotogrammetriaa varten on olemassa monia ilmaisia sovelluksia, joiden avulla saadaan tehtyä 3D-malli. Skannauksessa skannerille tulee enemmän hintaa kuin järjestelmäkameralle. Skannauksella tosin saadaan tehtyä tarkempia mittauksia kuin fotogrammetrialla. Tästä syystä skannausta suositetaan esim. osien tarkastuksessa, kun tarvitaan suurta tarkkuutta. Tietyillä 3D-skannaustavoilla voidaan mallintaa myös läpinäkyviä, kiiltäviä tai vähäyksityiskohtaisia kappaleita, jotka tuottaisivat fotogrammetrialla tehtynä ongelmia. Skannausta voidaan pitää käyttäjäystävällisempänä, sillä skannauksen tekeminen on nopeata ja se ei vaadi paljoa teknistä tietoa. Fotogrammetria tekniikan hyödyntäminen optimaalisesti vaatii kokemusta ja useiden kuvakierrosten ottamiseen kuluu aikaa. Fotogrammetria on kuitenkin silloin parempi vaihtoehto, kun halutaan saada malliin tekstuuri laadukkaasti mukaan. (Karlzip, 2019)

2.4 Valokuvaamisen periaatteet

Valokuvaamista varten tarvitaan yksi tai useampia kameroita. Kameran valinnassa tulee miettiä, minkälaisia kuvia halutaan ottaa. Älypuhelimien kamerallakin saadaan kelvollisia kuvia, mutta jos oikeasti haluaa laadukkaita kuvia, kannattaa kuvata järjestelmäkameralla. Sillä voi manuaalisesti säätää asetuksia, kuvata RAW-muodossa ja tarvittaessa vaihtaa objektiivia. (Sergeev, 2018)

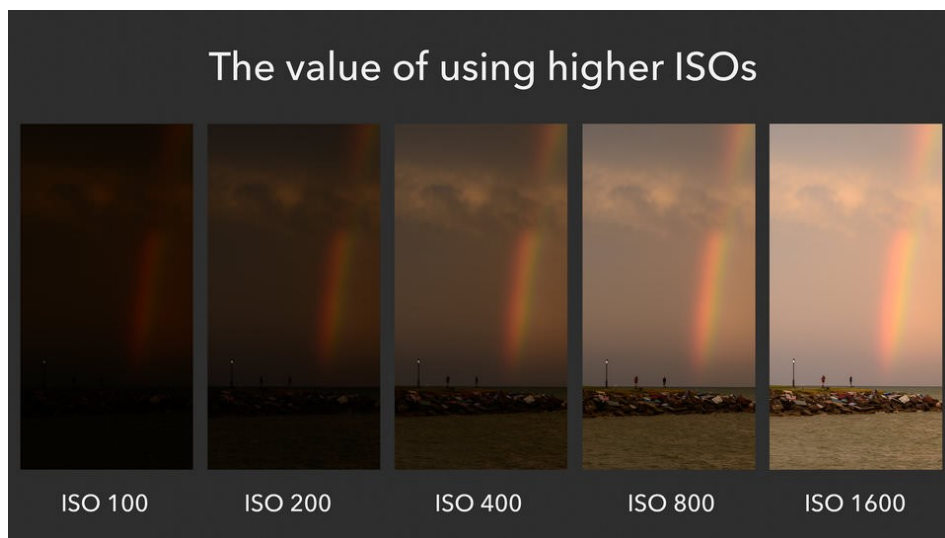
Lisävarusteet helpottavat kuvausprosessia ja parantavat kuvien laatua. Hyödyllisin lisävaruste on kolmijalka, joka minimoi kuvien tärähtäenisyttä. Pyörivä kuvausalusta nopeuttaa kuvaamista ja mahdollistaa kameras ja lisävalojen staattisen sijainnin. Lisävaloja ja valokuvaukseen soveltuvia heijastimia voi hyödyntää sopivan valaistuksen saamiseksi. (Sketchfab, 2015)

Valon hallinta on tärkeintä valokuvaamisessa. Kameran asetuksissa on valon määrän säätelyyn useita keinoja. Kameran aukkoa, suljinnopeutta ja ISO-arvon säätöä käytetään halutun valotuksen saavuttamiseksi. (Borodin, n.d.)

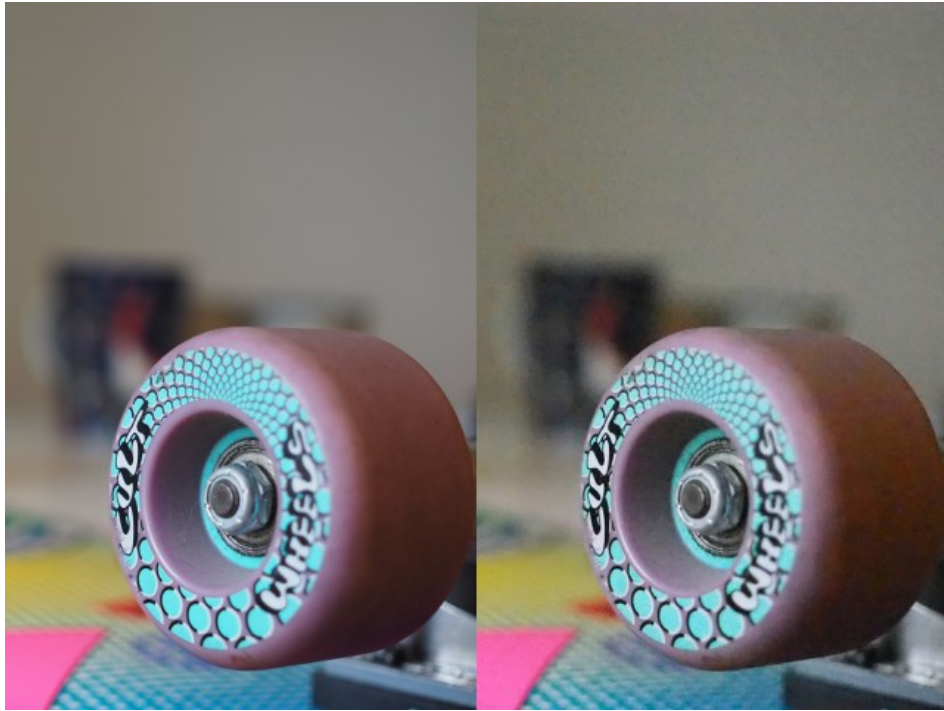
2.4.1 ISO-arvo

ISO-arvo eli herkkyysarvo määrittää kuinka herkkä kamera on tulevaan valoon. ISO-arvo suoraan määrittää kuinka paljon valotus nousee tai laskee. Suurempi ISO-arvo tekee kuvasta kirkkaamman, mutta samalla lisää kuvaan yleensä ei haluttua kohinaa sekä vääristää pikseleiden värejä. Tästä syystä kuvan valotus kannattaa tehdä mieluummin suljinaikaa tai aukkoa muuttamalla. Jos valotus on liian heikko, eikä ole muuta keinoa lisätä valoa, niin ISO-arvoa nostamalla voi parantaa kirkkautta. Muutoin ISO-arvo kannattaa pitää mahdollisimman pienenä. (Cox, 2017)

Tavallisimmat ISO-arvot ovat 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 ja 6400. Suurempi arvo tarkoittaa kirkkaampaa kuvaa. Kuvassa 3 näkyy ISO-arvon vaikutus kirkkauteen ja kuvassa 4 sen vaikutus kohinaan. (Cox, 2017)



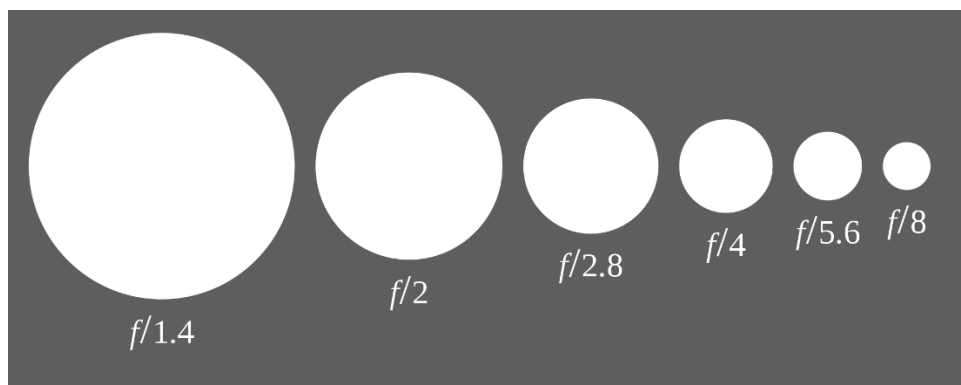
Kuva 3. ISO-arvon vaikutus kuvan valotukseen. (Cox, 2017)



Kuva 4. Selkeästi havaittava kohina. Vasen kuva ISO 200, oikea kuva ISO 25600. (Offtopic, 2015)

2.4.2 Aukko

Aukolla tarkoitetaan kameran objektiivissa olevaa aukkoa, jonka läpi valo kulkee kennolle. Aukon koko vaikuttaa sekä valotukseen että syväterävyyteen. Aukon kokoa merkitään f-luvulla. F-luvun kasvaessa aukon koko pienenee (kuva 5). (McHugh, Cambridge in Colour, 2016a)



Kuva 5. Oikealle mentäessä aukon pinta-ala pienenee aina puoleen edellisestä aukosta. (Wikipedia, n.d.)

Mitä suurempi aukko on, sitä enemmän valoa tulee kuvaan. Suurella aukolla voi kuvata hämärässä, kun taas pienellä aukolla hämärässä otetut kuvat tulevat olemaan pääasiallisesti mustia. Säättämällä aukkoa ja suljinainkaa, saadaan asetettua kuvausta vaativa valotus.

Kuvan syväterävyys on myös riippuvainen aukosta. Syväterävyys vaikuttaa siihen, kuinka suuri osa kuvasta esiintyy tarkkana. Pienellä aukolla kuvattaessa saa kuvaan suuren syväterävyysalueen. Vuorostaan suurella aukolla kuvan syväterävyys on paljon kapeampi, eli vain pieni osa kuvasta on tarkka. (Cox, 2017)

2.4.3 Suljinaika

Suljinaika, toiselta nimeltään valotusaika, määrittää kuinka kauan kameran kennolle pääsee valoa. Mitä pidempi suljinaika on, sitä enemmän valoa kuvaan tulee. Sopivan suljinajan valitsemiseen on monta kriteeriä. Kuvattaessa liikkuvia kohteita suljinajan on oltava pieni, jotta kuvat ovat tarkkoja. Suurella suljinajalla liikkuvaan kohteeseen syntyy juova, joka seuraa liikettä. Tätä hyödynnetään, kun on tarkoituksena luoda luovia tehosteita kuvaan. (Ang, 2012, ss. 70-71)

Pienten objektien kuvaamiseen lähietäisyydeltä käytetään usein pientä aukkoa suuren syväterävyysalueen saavuttamiseksi. Tämä tarkoittaa, että suljinaikaa täytyy kasvattaa lisäämään kuvaan valoa (Ang, 2012, s. 71).

2.4.4 Valkotasapaino

Valkotasapaino on kameran asetus, joka säätää sekä kuvien väritasapainoa että värejä vihreän ja vaaleanpunaisen väliltä. Kameroissa on usein valmiita esiasetuksia kuvattaessa esim. päivänvalossa, pilvisessä säässä tai hehkulampun valossa. Helpoin tapa on käyttää automaattista valkotasapainon säätöä (AWB), joskin tulos ei ole aina sitä mitä haetaan. Valkotasapainoa voi säätää myös jälkikäsitelyssä esimerkiksi PhotoShop-ohjelmalla, joten virheellinen asetus kamerassa ei tule kaatamaan koko prosessia, mutta voi heikentää lopputuloksen laatua. (Ang, 2012, ss. 104, 218)

Monista eri lähteistä tulevien valojen yhdistelmä vaikeuttaa tarkan valkotasapainon säätämistä. Toinen ääripää asetuksen säädössä tekee kuvasta sinertävän ja toinen kellertävän. Paras lopputulos on näiden välimaastossa. (Ang, 2012, s. 218)

3 KUVAUSYMPÄRISTÖN RAKENTAMINEN

Tarkoituksena on rakentaa kuvausympäristö, joka ei vaadi paljoa korkeatasoisia laitteita, ja jossa pystyy nopeasti kuvaamaan erilaisia esineitä. Kuvattavat kohteet tulevat olemaan pyörivän alustan päällä, jotta kameraa ja valoja ei tarvitse liikuttaa kuvauksen aikana vähentäen tarvittavan tilan määrää.

Aluksi tarvitaan jonkinlainen taso, esimerkiksi pöytä, jonka ympärille ympäristö rakentuu. Jos pöytä tuntuu liian matalalta, voi sen päälle laittaa jonkun vakaan tason tuomaan lisäkorkeutta. Itse laitoin muovisen laatikon vielä pöydän päälle. Pöydän taakse tarvitaan yksivärinen tausta. Omassa työssäni tein taustan valkoisesta paperista, joka lähtee tarpeeksi korkealta pöydän takaa, ja tulee pehmeässä kaaressa pöydän päälle. Paperin päällä on pyörivä alusta. Alustan täytyy olla tarpeeksi vakaa, jotta kuvattava esine pysyy sen päällä helposti paikallaan. Oman työni alusta on kaksiosainen. Pohjalla on metallinen runko, joka on tarpeeksi painava, ettei alusta liiku mihinkään suuntaan vahingossakaan alustaa pyörittäessä. Rungon keskellä on pystysuuntainen tappi. Rungon päällä on valkoinen pahvista leikattu ympyrä. Ympyrän keskellä on pieni reikä, joka tulee tappiin kiinni, mahdollistaen alustan pyörittämisen.

Valoa kuvaan tulee kohteen molemmin puolin asetetuista lampuista ja kattovalosta. Jos tuntuu että valot tulevat liian voimakkaina kohteeseen luoden varjoja, voi niitä peilata heijastavan pinnan kautta kohteeseen.

Kameran sijaintia voi muuttaa joko lähemmäs kohdetta kuvattaessa hyvin pieniä esineitä, tai kauemmaksi kuvattaessa suurempia esineitä. Ihanteellisessa tilanteessa kuvia otettaisiin useasta pystytasosta samaan aikaan, mutta minulla on käytössä vain yksi kamera, joten kamerasijaintia tulee säätää kuvauksen aikana. Alla näkyy kuva (kuva 6) valmiista kuvausympäristöstä.



Kuva 6. Oppilaitoksen tiloissa rakennettu valmis kuvausympäristö.

4 VALOKUVAUS

Sain Suomen Metsästysmuseolta lainaan esineitä valokuvattaviksi ja 3D-mallinnettaviksi. Esineet näkyvät kuvassa 7. Esineet olivat erimuotoisia, erikokoisia ja eri materiaalista tehtyjä, jotta projektin avulla voitaisiin tehdä päätelmiä minkälaiset esineet ovat soveltuvia fotogrammetrian avulla 3D-mallinnettaviksi. Esineet ovat (1) metsästystorvi, (2) puinen lintu, (3) karhunrauta, (4) ihmispatsas, (5) muoviset sarvet, (6) reppu, (7) hylsy, (8) hauli, (9) miekka ja (10) metsästyspilli.



Kuva 7. Suomen Metsästysmuseolta saadut esineet.

Itse valokuvaussessio ei vienyt kovin paljoa aikaa, vaan noin 15 minuuttia kappaleelta. Kuvausta ennen täytyi asettaa kameran asetukset kohdilleen ja säätää valaistus niin, että kappale on tasaisesti valotettu ja kappaleen päällä ei ole varjoja. Varjot voivat aiheuttaa ongelmia tietokonesovelluksen yhdistäessä kuvia ja tehdessä niistä 3D-mallin. Kuvattavan kohteen täytyy näkyä tarkkana kauttaaltaan ja olla mahdollisimman lähellä kameraa, jotta kuvissa on tarpeeksi yksityiskohtia, mikä mahdollistaa laadukkaitten 3D-mallien tuoton. Tämän sai aikaan asettamalla sopivan aukon koon kameralle. Käytin aukon koon valintaan Cambridge In Colour -sivuston syväterävyyslaskuria (kuva 8). Valittua sopivan aukon koon, siinä tulee pysyä koko kappaleen kuvauksen ajan. Jokaisessa kuvassa tulee olla samanlainen syväterävyys. (Zdunek, n.d.)

Depth of Field Calculator [show advanced](#)

Camera Type
Digital SLR with CF of 1.6X

Selected Aperture
f/5.6

Lens Focal Length
50 mm

Focus Distance
100 cm

CALCULATE

Nearest Acceptable Sharpness: **95.92 cm**
 Furthest Acceptable Sharpness: **104.45 cm**
 Total Depth of Field: **8.5 cm**

Kuva 8. Syväterävyyslaskuri on työkalu, jolla voi laskea halutun syväterävyysalueen. (McHugh, Cambridge in Colour, 2016b)

Kuvia ottaessa on tärkeä huomioida, että kamera pysyy vakaasti kolmijalan päällä, eikä kuvat ole lainkaan tärhtäneitä. Mitä tarkempia kuvat ovat, sitä parempi lopullinen laatu tulee olemaan. Kuvia otetaan kappaleen joka puolelta, jotta tietokonesovellukset pystyvät määrittämään kappaleelle 3D-muodot. (Zdunek, n.d.) Jokaisen yksittäisen kuvan jälkeen kappaleen alla olevaa pyörivää alustaa pyöritettiin noin 15-20 astetta, jotta kuvissa olisi tarpeeksi päällekkäisyyttä. Tämä tarkoitti, että kuvia tuli jokaisesta vaakatasosta noin 20 kappaletta. Riippuen kappaleesta kuvia tulee ottaa vähintään kahdesta vaakatasosta. Alla olevassa kuvassa (kuva 9) näkyy kameroiden paikat puista lintua kuvattaessa.



Kuva 9. Kameroiden paikat puista lintua kuvattaessa. Kuvia on otettu kahdesta vaakatasosta.

5 VALOKUVISTA 3D-MALLIKSI

Kuvien ottamisen jälkeen varmistetaan, että kuvien laatu on haluttua ja aletaan valmistella kuvien siirtäminen tietokoneelle. Tässä vaiheessa kuvia voi vielä muokata, esimerkiksi parantaa kuvien valkotasapainoa tai suorittaa värikorjausta Adobe Photoshopin avulla. Käytin työssäni Autodesk ReCap Photo -sovellusta luomaan kuvista 3D-mallit. Tämä sovellus ottaa sisään vain JPG-tiedostoja, eli jos kuvat olivat otettu RAW-muodossa, ne tulee muuntaa JPG-muotoon ennen kuin ne voi syöttää sovellukseen. Sovelluksen minimikuvamäärä on 20 kuvaa ja maksimikuvamäärä on 100 kuvaa. Kun kuvat on valittu sovelluksessa, niin sovellus alkaa työstämään niistä 3D-mallia. Tähän voi mennä kuvien määrästä ja sovelluksen muiden käyttäjien määrästä riippuen noin 20:stä minuutista pariin tuntiin.

Mallin valmistuttua selviää suoraan, miten hyvin kyseinen kappale on onnistunut. Mallissa saattaa olla mukana ylimääräistä kohtia. Kuvassa 11 näkyy miten muovisten sarvien mukana malliin tuli näkyviin pyörivä alusta. Sovelluksella voi koittaa korjata pieniä epäkohtia mallissa, mutta suuremmat muokkaukset kannattaa tehdä oikeassa 3D-sovelluksessa. Kun malliin ollaan tyytyväisiä, se viedään/exportataan sovelluksesta tehden siitä joko OBJ- tai FBX-tiedoston.



Kuva 11. Autodesk ReCap Photon tuottama 3D-malli muovisista sarvista.

Käytin omassa työssäni jälkikäsittelyyn Autodeskin 3ds Max 2019 -sovellusta. Sovelluksella voi mm. korjata mallin epäkohtia, poistaa ylimääräisiä kohtia, muokata tekstuuria ja renderöidä kuvia taustoineen ja valoineen. Kuvassa 12 näkyy sarvimalli, josta on poistettu sen alla näkynyt alusta.

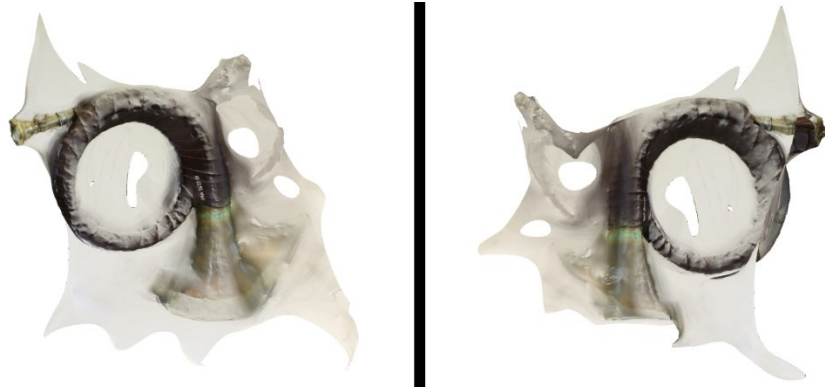


Kuva 12. Alkuperäisestä mallista on poistettu alusta.

6 LOPPUTULOKSET

6.1 Metsästystorvi

Torven mallintaminen ei tule onnistumaan fotogrammetrialla. Kuvassa 13 näkee kuinka heikosti tietokonesovellus osaa tehdä 3D-mallin, kun kappaleen metallinen pinta kiiltää ja heijastaa valoa. Malliin on tullut paljon epäkohtia, koska sovellus ei ole onnistunut yhdistämään kuvia toisiinsa. Kiiltävien kohtien maalaaminen tai puuterointi parantaisi laatua varmasti.



Kuva 13. Metsästystorvi.

6.2 Puinen lintu

Puisen linnun mallinnus onnistui. Kuvan 14 mallissa linnun vatsanseudulle tuli vääristymä liiallisen valaistuksen takia. Alue heijasti tietyissä kuvakulmissa valoa kameraan, mikä aiheutti ongelmia tietokonesovellukselle yhdistää eri kuvien pisteet toisiinsa. Seuraavalla kuvauskerralla valaistusta vähennettiin, ja saatiin onnistuneempi malli (kuva 15). Parantamisen varaa jäi linnun jalkojen mallintukseen. Jaloissa oli hyvin vähän yksityiskohtia, joka vaikeutti yhteisten pisteiden löytämistä sovellukselle. Kuvia olisi myös saanut ottaa alemmasta kuvakulmasta, jotta myös linnun alapuolen kaikki pisteen näkyisivät mallissa.



Kuva 14. Ensimmäinen otos linnusta.



Kuva 15. Seuraava kuvauskerta.

6.3 Karhunrauta

Karhunraudan mallinnus ei ole helppoa fotogrammetrialla. Suurin ongelma tulee siinä, että raudan monet pisteet ovat nähtävissä vain parista kuvakulmasta katsottuna. Tällöin näiden pisteiden yhdistäminen on sovelukselle vaikeaa. Kappaleessa on myös paljon aukkoja, jotka tekevät sen mallintamisesta erittäin vaikeaa. Yksivärisyyden takia myös yksityiskohdat ovat vähissä. Paremman lopputuloksen saisi, jos lisäisi kuvien määrää ja ottaisi paljon lähikuvia, joissa kohteen yksityiskohdat tulisivat parhaiten esiin.



Kuva 16. Karhunrauta

6.4 Ihmispatsas

Ihmispatsas oli ensimmäinen kohde, jota lähdin kuvaamaan. Tein alussa virheen, kun en rajannut kuvia niin, että vain patsas näkyisi lopullisessa kuvassa. Kuvissa oli mukana myös alustan runkoa, joka ei pyörinyt vaan näkyi jokaisessa kuvassa samalla tavalla. Tämä pilasi mallinnuksen ja tuotti kuvan 17 näköisen lopputuloksen.



Kuva 17. Patsaan ensimmäinen yritys.

Seuraavilla yrityksillä patsaasta tuli todella hyvännäköisiä malleja. Patsaan yksinkertainen muoto ja monet yksityiskohdat mahdollistivat onnistuneen mallinnuksen. Toisen kuvauskerran malliin (kuva 18) tuli päähän reikä, koska kuvia ei otettu tarpeeksi korkeasta tasosta. Tämä virhe mallissa saatiin korjattua seuraavalla kuvauskierroksella, kun kuvia otettiin myös tarpeeksi ylhäältä (kuva 19).



Kuva 18. Patsaan toinen yritys.



Kuva 19. Patsaan kolmas yritys.

6.5 Muoviset sarvet

Sarvet olivat haasteellinen kohde. Sarvet olivat pääosin hyvin sileäpintaiset, joten niissä ei ollut erityisesti yksityiskohtia. Ensimmäisellä mallinnusyrityksellä 3D-malliin tuli paljon "haamusarvia" (kuva 20). Muoviset sarvet heijastivat valoa kameraan, mikä toi ongelmia mallin tuottamisessa. Kuvassa 21 näkyy paljon laadukkaampi malli. Jälkimmäisen mallin kuvaus sessio suoritettiin vähemmässä valaistuksessa, jolloin kuvien valotusta kompensoitiin pidentämällä kameran valotusaikaa.



Kuva 20. Ensimmäinen kuvausyritys sarvista.



Kuva 21. Toinen kuvausyritys sarvista

6.6 Metsästysreppu

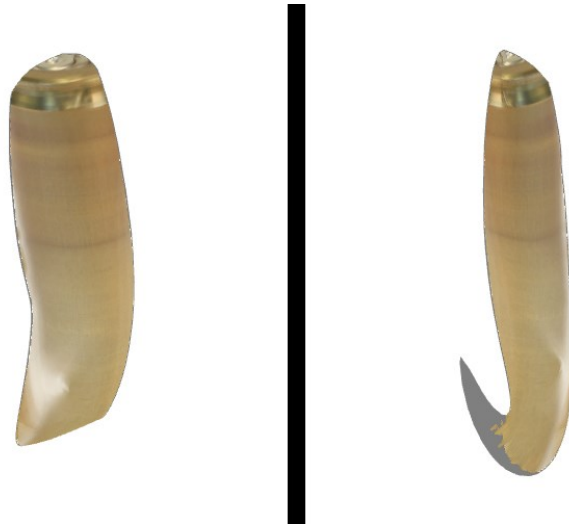
Metsästysreppu oli ainoa kappale, joka oli kooltaan niin suuri, ettei sitä voinut kuvata rakennetussa kuvausympäristössä. Sen sijaan reppu kuvattiin kuvaushuoneen keskellä asettaen sen pöydän päälle ja kiertäen kameralla sen ympärillä ottaen kuvia. Repun hihnojen taakse jäävästä alueesta voi malliin tulla aukkoja, mutta tässä kappaleessa kyseistä ongelmaa ei ilmaantunut. Repun mallinnus onnistui jo ensimmäisellä yrityksellä mainiosti. Alla olevassa kuvassa näkyy repun 3D-malli (kuva 22).



Kuva 22. Metsästysreppu

6.7 Hylsy

Hylsy, kuten kaikki kiiltävät kohteet, aiheuttavat suuria ongelmia 3D-malleja luoville tietokonesovelluksille. Kuvasta 23 nähdään, että mallin kolmiulotteinen muoto on täysin vääristynyt.

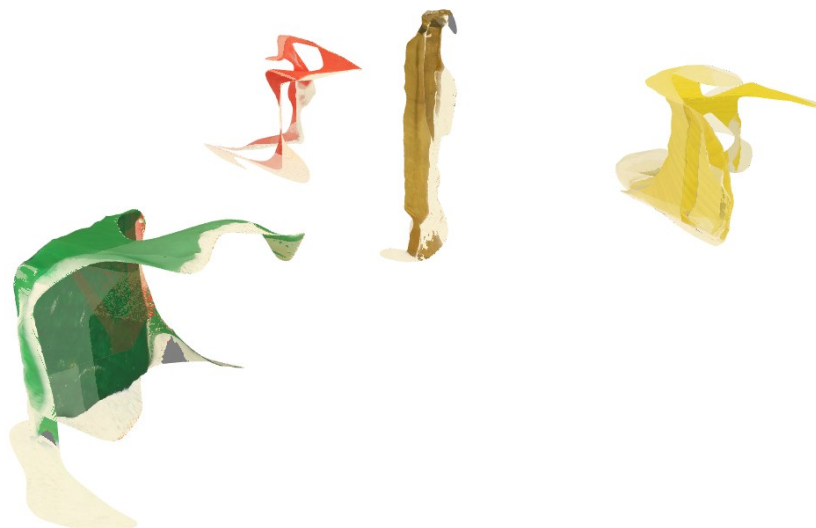


Kuva 23. Hylsyn ensimmäinen yritys.

Hylsyjen toiseen mallinnusyritykseen lisättiin kuvaan mukaan puisia palikoita. Palikoiden tarkoitus on helpottaa eri kuvien yhteisten pisteiden löytämistä. Kuvan 24 mallissa hylsy näyttää hyvältä, mutta palikat ovat täynnä reikiä. Kun mallia pyöritetään, huomataan ettei hylsy olekaan saanut oikeita muotojaan (kuva 25). Tietokonesovellus ei ole onnistunut määrittämään kameroiden sijaintia oikein. Sovellus on virheellisesti määrittänyt kaikkien kameroiden sijainnin suunnilleen samaan paikkaan toistensa kanssa, sen sijaan että ne olisivat tasaisesti kuvattavan kappaleen ympärillä.



Kuva 24. Hylsyn toinen yritys.



Kuva 25. Toisen yrityksen kuva sivulta.

6.8 Hauli

3D-mallinnus haulista onnistui yllättävän hyvin. Vaikka haulissa on kiiltävää metallista pintaa, sai mallinnusohjelma muodostettua realistisen mallin kappaleesta. Kappaleessa oleva tekstuuri mahdollisti yhtenäisten pisteiden yhdistämisen sovellukselle. Kuvassa 26 näkyy kappaleesta luotu 3D-malli.



Kuva 26. Hauli

6.9 Miekka

Miekan mallinnus ei onnistunut. Kuvasta 27 nähdään ettei mallin kolmiulotteinen muoto ole toteutunut. Sivusta päin kuvattuna miekan epämuodostumat ovat pieniä verrattuna ylhäältä päin kuvattuun malliin. Kappaleen yksityiskohtien puutos ja metallin heijastukset tekevät kappaleen mallintamisesta erityisen haasteellista.



Kuva 27. Ylhäällä miekan 3D-malli sivusta kuvattuna, ja alhaalla malli ylhäältä kuvattuna.

6.10 Metsästyspilli

Kuvan 28 metsästyspillin malli ei ole saanut oikeita 3D-muotoja. Malli näyttää yhdeltä sivulta hyvin onnistuneelta, mutta mallin sivuprofiilista huomataan, että malli on melkein täysin littana. Kappaleen muovinen läpinäkyvä osa aiheuttaa suuria ongelmia ReCap Photo -sovellukselle tuottaa kuvista oikeanlainen 3D-malli.



Kuva 28. Metsästyspilli.

6.11 Parhaiten ja heikoiten onnistuneet mallit

Parhaiten fotogrammetrian avulla 3D-mallinnettavaksi osoittautui ihmispatsas. Ihmispatsaan yksinkertainen muoto ja monet yksityiskohdat kappaleen pinnan maalissa tekivät kappaleesta ideaalin mallinnettavaksi. Muut kappaleet, jotka onnistuivat hyvin, olivat reppu, hauli ja puinen lintu. Kaikissa edellä mainituissa kappaleissa oli reilusti yksityiskohtia, jotka tietokonesovellus pystyi yhdistämään päällekkäisistä kuvista.

Vaikeita mallinnuksen kohteita olivat muoviset sarvet ja karhunrauta. Sarvien muovinen pinta loi paljon valon heijastuksia, ja kappaleen toistuvat vähäyksityiskohtaiset sarvet vaikeuttivat mallinnusprosessia. Karhunraudassa oli kanssa yksityiskohtien puutetta. Karhunraudan mallinnukseen ongelmia toi myös raudan monimutkainen geometria. Kappaleessa oli monia kohtia, joista näkee läpi, sekä kappale itsessään peittää sisempien osien näkyvyyttä. Kun nämä sisemmät osat eivät näy riittävät monessa kuvassa, tulee lopulliseen malliin reikiä ja muita epämuodostumia.

Kaikkein hankalimpia kohteita mallintaa olivat metsästystorvi, hylsy, miekka ja metsästyspilli. Kolmessa edellä mainitussa kappaleessa isoimmat ongelmat tulivat metalliosien heijastuksen kautta, kun taas pillissä ongelmia toi kappaleen läpinäkyvyys. Molempia ongelmia voi lähteä yrittämään korjata maalaamalla tai puuteroimalla kappaletta. Omassa

projektissani en voinut tätä hyödyntää, sillä kappaleet eivät olleet minun omistuksessani. Kappaleen maalaaminen tai puuteroiminen helpottaa kolmiulotteisen rakenteen muodostamista, mutta samalla menetetään kappaleen oikeat tekstuurit maalattujen tai puuteroitujen alueiden kohdalta. Jälkikäsitellyssä tietokonesovelluksilla näitä menetettyjä tekstuureita voidaan pyrkiä korjaamaan asettamalla valmiiden tekstuuripakkausten avulla kyseiselle alueelle esimerkiksi metallinen tekstuuri.

Alla olevissa kuvissa (kuvat 29-31) nähdään parhaiten onnistuneet mallit renderöitynä 3ds Maxilla. Mallien oikeaa kokoa on muutettu, jotta kaikki mallit ovat näkyvissä kuvissa.



Kuva 29. Renderöinti mallien edestä.



Kuva 30. Renderöinti mallien sivulta.



Kuva 31. Renderöinti mallien toiselta sivulta.

7 YHTEENVETO

Koska fotogrammetria ei vaadi muuta kuin kameran ja tietokonesovelluksen voi kuka tahansa luoda 3D-malleja sen avulla. Pitää kuitenkin muistaa, että heikkolaatuiset valokuvat tuottavat heikkolaatuisen 3D-mallin. Mitä paremmin hallitsee valokuvauksen perusteet, sitä laadukkaampia mallit tulevat olemaan. Pelkästään tuntemalla kameran perusasetukset ja ottamalla vakaita kuvia kolmijalalla pääsee pitkälle.

Omassa projektissani kaikista kappaleista ei tullut onnistuneita 3D-malleja. Tämä ei myöskään ollut oletukseni, kun ryhdyin projektiin. Kappaleista suoraan näki, että niissä monessa oli kiittäviä pintoja, jotka tuovat takuulla vaikeuksia 3D-malleja luoville sovelluksille. Sarvia kuvatessani onnistuin parantamaan mallin laatua huomattavasti työprosessin edetessä. Valotuksen säätäminen kyseisessä esimerkissä oli suurin tekijä laadun paranemiseen. Toinen asia joka tuotti paljon ongelmia, oli kappaleiden vähäiset yksityiskohdat. Hylsyä kuvattaessa lisäsin kuvaan palikoita tuomaan lisää yksityiskohtia, mutta malliin ei tullut suurta parannusta. Joissain tapauksissa useamman kuvan ottaminen ja etenkin hyvin läheltä kuvatut kuvat voivat parantaa lopullisen mallin laatua. Luulen, että karhunrautaa mallinnettaessa tämä olisi parantanut mallin ulkonäköä.

Fotogrammetrialla saa tehtyä hyvinkin helposti 3D-malleja. Kuitenkaan aina fotogrammetria ei ole paras tekniikka mallien tekoon. Jos työ vaatii äärimmäistä tarkkuutta, on parempi käyttää 3D-skannausta. Jos mallinnettävien kohteiden geometria on hyvin monimutkainen, ei fotogrammetrialla tuotettu malli välttämättä vastaa kohdetta tarpeeksi hyvin. Fotogrammetrialla on kuitenkin käyttönsä. Konenäön ja mallinnussovellusten

kehittyessä uskon myös fotogrammetrian käytön yleistyvän ja 3D-mallien laadun paranevan.

LÄHTEET

- 360TECHPH. (27.8.2016). *WordPress*. Haettu 1.9.2019 osoitteesta <https://360techph.wordpress.com/2016/08/27/limitations-of-photogrammetry/>
- Ang, T. (2012). *DIGIKUVAUS - KUVAAJAN KÄSIKIRJA*. (M. Niemi, Käänt.) Readme.fi Oy.
- Borodin, D. (n.d). *VeprIT*. Haettu 30.11.2019 osoitteesta <https://veprit.com/photography-guide/basic-concepts/aperture-shutter-speed-iso>
- Coulombe, A. (17.3.2016). *Canadian Geographic*. Haettu 3.3.2019 osoitteesta <https://www.canadiangeographic.ca/article/geography-word-week-photogrammetry>
- Cox, S. (2017). *Photography Life*. Haettu 6.2.2019 osoitteesta <https://photographylife.com/what-is-exposure>
- Geodetic Services, Inc. (n.d.). *Geodetic Systems*. Haettu 6.2.2019 osoitteesta <https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry/>
- Karlzip. (11.4.2019). *Techmed3D*. Haettu 30.11.2019 osoitteesta <https://techmed3d.com/2019/04/photogrammetry-vs-3d-scanning/>
- Laakso, A. (29.11.2016). *From reality to 3D model - Post production of photogrammetry based model*. Haettu 1.9.2019 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/119647/Laakso_Antti.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Luhmann, T.;Robson, S.;Kyle, S.;& Boehm, J. (27.11.2013). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. De Gruyter, Inc. Haettu 3.2.2019 osoitteesta <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=1563368>
- McHugh, S. (2016a). *Cambridge in Colour*. Haettu 6.2.2019 osoitteesta Camera Exposure: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-exposure.htm>
- McHugh, S. (2016b). *Cambridge in Colour*. Haettu 31.8.2019 osoitteesta <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/dof-calculator.htm>

Offtopic. (4.10.2015). *WordPress*. Haettu 6.2.2019 osoitteesta <https://otinfo.wordpress.com/2015/10/04/valokuvaamisen-perusteet-valotus/>

PhotoModeler Technologies. (n.d.). *PhotoModeler Technologies*. Haettu 6.2.2019 osoitteesta <https://www.photomodeler.com/pm-applications/pub-safety-forensics/crime/>

Pillai, A. N. (12.6.2015). *GIS Lounge*. Haettu 3.2.2019 osoitteesta <https://www.gislounge.com/a-brief-introduction-to-photogrammetry-and-remote-sensing/>

Renella, B. (19.8.2017). *Computer Aided Technology*. Haettu 3.3.2019 osoitteesta <https://www.cati.com/blog/2017/08/what-is-photogrammetry/>

Sergeev, A. (16.4.2018). *80.lv*. Haettu 30.11.2019 osoitteesta <https://80.lv/articles/what-camera-should-you-use-for-photogrammetry/>

Sketchfab. (18.6.2015). *Sketchfab*. Haettu 1.9.2019 osoitteesta <https://sketchfab.com/blogs/community/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project/>

Walford, A. (n.d.). *Photogrammetry*. Haettu 4.2.2019 osoitteesta <http://www.photogrammetry.com/>

Wikipedia. (n.d.). *Wikipedia*. Haettu 7.2.2019 osoitteesta <https://en.wikipedia.org/wiki/F-number>

Zdunek, G. (n.d.). *Vertex Library*. Haettu 31.8.2019 osoitteesta <https://www.vertexlibrary.com/guide-to-3d-scanning-outdoor-photogrammetry-tips>