



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Hilla Palojärvi

Fotogrammetria mallintajan työkaluna

Valokuvaus 3D-mallinnuksen apuvälineenä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi AMK

Viestintä

Opinnäytetyö

4.5.2020

Tekijä(t) Otsikko	Hilla Palojärvi Fotogrammetria mallintajan työkaluna: Valokuvaus 3D-mallinnuksen apuvälineenä
Sivumäärä Aika	32 sivua 4.5.2020
Tutkinto	Medianomi AMK
Tutkinto-ohjelma	Viestintä
Suuntautumisvaihtoehto	3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t)	Lehtori Jaro Lehtonen
<p>Tutkin opinnäytetyössäni fotogrammetriaa 3D-mallintajan työkaluna sekä metodeja, joita fotogrammetrisessä tuotannossa käytetään. Tavoitteeni opinnäytetyössä on käytännön kautta avata fotogrammetrian vaatimuksia ja mahdollisuuksia.</p> <p>Opinnäytetyöni koostuu kahdesta osasta. Avaan työn ensimmäisessä osassa fotogrammetriaa ja sen historiaa sekä 3D-mediaan liittyvää termistöä. Kerron fotogrammetrian vaatimuksista ja siihen soveltuvista työkaluista. Käytän tutkimukseni pohjana alan kirjallisuutta sekä dokumentoituja fotogrammetrisia projekteja. Pyrin kertomaan fotogrammetrian käyttötarkoituksista ja toiminnasta pohjustaakseni tutkimuksen käytännön osuutta.</p> <p>Opinnäytetyön toisessa osassa käsitelen toteuttamani fotogrammetrisen 3D-mallin rakentamista. Avaan aihetta toteuttamalla 3D-mallin valitsemastani kohteesta hyödyntäen tutkimuksen ensimmäisessä osassa käsitellyjä metodeja ja työkaluja. Avaan tutkimuksen vaihe vaiheelta ja kuvaesimerkkejä käyttäen. Tutkimuksen tavoitteena on toteuttaa toimiva 3D-malli valokuvien pohjalta.</p>	
Avainsanat	fotogrammetria, valokuvaus, 3D-mallinnus

Author(s) Title	Hilla Palojärvi Photogrammetry as a modeler's tool: Photography as a tool for 3D modeling
Number of Pages Date	32 pages 4 May 2020
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Media
Specialisation option	3D Animation and Visualization
Instructor(s)	Jaro Lehtonen, Senior Lecturer
<p>My thesis studies photogrammetry as a 3D modeler's tool and the methods used in the process. My aim is to explain the requirements and possibilities of photogrammetry through practice.</p> <p>The thesis consists of two parts. In the first part, I focus on photogrammetry and its history, as well as the terminology related to 3D media. I explain the requirements of photogrammetry and the tools that are suitable for it. I use literature and documented projects as the basis for my research and explain the applications and functions of photogrammetry in order to lay out the groundwork for the practical part of my research.</p> <p>In the second, practical part of my thesis, I demonstrate the construction of a 3D model from photographs by using photogrammetry. I use the methods and tools presented in the first part of the thesis in the process. My research is explained step by step using pictures.</p>	
Keywords	photogrammetry, photography, 3D modeling

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen aihe	2
2.1	Tavoitteet	2
2.2	Termistö	2
3	Mitä on fotogrammetria?	3
3.1	Historia	5
3.2	Kuvausmetodit	8
3.3	Hyödyt 3D-tuotannossa	9
4	Fotogrammetria prosessina	12
4.1	Vaadittavat elementit	12
4.2	Ongelmakohtien tunnistaminen	13
5	Fotogrammetrian työkalut	14
5.1	Kamera	14
5.2	Valaistus	14
5.3	Kuvausympäristö	15
5.4	Kohde	16
5.5	Kuvausalusta	16
5.6	Ohjelmistot	17
6	Tutkimuksen toteutus	17
6.1	Tutkimus	17
6.2	Valokuvasisällön käsittely	21
6.3	3D-mallin käsittely	23
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	29

1 Johdanto

Fotogrammetria on 3D-visualisoinnissa käytetty mallinnusmenetelmä, jonka avulla valokuvatiedostoista lasketaan 3D-malleja. Kiinnostuin ensimmäistä kertaa fotogrammetriasta opintojen aikana toteutetun projektityön kautta. Projektissa taltioimme fotogrammetrian avulla ihmisiä 3D-malleiksi virtuaaliodellisuuspeleä varten. Ennen peliprojektia en ollut tietoinen fotogrammetrian vaatimuksista ja mahdollisuuksista, mutta pelin *Grave of the Petrified* valmistuttua olin varma hyödyntäväni fotogrammetriaa työkaluna myös tulevaisuudessa.

Pidän tärkeänä sitä, että media-alalle työllistyvät ammattilaiset osaavat hyödyntää fotogrammetriaa tuotannon työkaluna. Koin opinnäytetyön mahdollisuutena laajentaa omaa ammattitaitoani ja jakaa tutkimuksen kautta havaintojani myös muille fotogrammetriasta kiinnostuneille. Moni 3D-mallintaja ei ole koskaan hyödyntänyt fotogrammetriaa työssään, ja toivon, että tämä opinnäytetyö auttaa mallintajia taitotasosta riippumatta aloittamaan fotogrammetrian soveltamisen työvälineenä.

Esittelen tutkimukseni vaiheet kronologisesti. Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta. Kerron opinnäytetyön alussa fotogrammetriasta ja sen historiasta sekä avaan yleisiä vaatimuksia, joita fotogrammetria vaatii onnistuakseen.

Opinnäytetyön toisessa osassa kuvailen omaa tutkimustani vaihe vaiheelta sekä esittelen tutkimustyön pohjalta syntyneen lopputuleman. Opinnäytetyössä hyödynnetyt 3D-työkalut ovat kaikki ilmaisia. Esittelen materiaalin käsittelyn työvaihe kerrallaan, joten myös valokuvaamista tai 3D-grafiikkaa aloittelevat voivat työvaiheita seuraamalla päästä laadukkaaseen lopputulokseen. Pyrin avaamaan fotogrammetriaa käytännönläheisesti toteuttamani projektin avulla. Olen purkanut tutkimuksen ja sen lopputuloksen opinnäytetyössä työvaiheiden mukaan. Lähteinä olen hyödyntänyt alan kirjallisuutta ja dokumentointia sekä fotogrammetrista tuotantoa käsitteleviä videoita ja ohjeistuksia verkossa.

Kiitän yhteistyöstä Otaniemen luonnontiedelukiota ja erityisesti opettaja Seppo Hietaranta, joka luovutti koulun tilat ja kuvauskohteet käyttöni opinnäytetyön tutkimusvaiheessa. Haluan kiittää myös valokuvauksissa avustajana toiminutta Marko Palojärveä, joka antoi kaikki tarvittavat välineet sekä tietotaitonsa kuvausten ajaksi käyttöni.

2 Tutkimuksen aihe

Fotogrammetria on reaali maailman taltioimiseen kehitetty menetelmä, ja se mahdollistaa kolmiulotteisen tiedon jakamisen sähköisessä muodossa. Fotogrammetriaa käytetään monenlaisiin tarkoituksiin tieteen ja tutkimustyön laatisessa.

Opinnäytetyöni käsittelee fotogrammetriaa mallintajan työkaluna. Työ koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa (luvut 1–4) kerron fotogrammetrian historiasta ja menetelmän toiminnasta yleisellä tasolla. Seuraavassa osassa (luvut 5–6) keskityn tutkimaan elottomia kohteita ja niiden kuvaukseen soveltuvia työkaluja ja tekniikoita. Aloitin tutkimukseni valokuvaamalla valitsemani kohteet kahdella eri metodilla. Pyrin avaamaan metodien toimivuutta valokuvauksen aikana ja kuvamateriaalien hyödyntämistä jatkokäsittelyssä.

2.1 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on luoda käyttökelpoinen 3D-malli valokuvamateriaalia hyödyntäen. Kuvauksien aikana pyrin tuottamaan käyttökelpoista kuvamateriaalia mahdollisimman laadukkaan fotogrammetrian saavuttamiseksi. Jatkokäsittelyssä keskityn avaamaan työprosessia ohjelmistojen sisällä ja kertomaan lopullisen mallin rakentamisen vaatimuksista. 3D-mallin käsittelyvaiheessa keskityn työvaiheisiin, enkä avaa ohjelmistojen teknologiaa tai työkaluja yksityiskohtaisesti. Opinnäytetyöni tavoite on tuottaa valmis ja käyttökelpoinen 3D-malli alkuperäisestä kuvatusta kohteesta fotogrammetrian avulla.

2.2 Termistö

3D-grafiikka tarkoittaa kolmiulotteista tietokonegrafiikkaa.

3D-mallintaja on kolmiulotteista grafiikka tuottava henkilö.

Fotogrammetria eli kuvamittaus on digitaalisten valokuvien avulla suoritettavaa kolmiulotteista mittausta (Autodesk 2020a).

Noodi eli solmu on tietorakenteen perusosa. Solmut linkittyvät toisiinsa muodostaen tietorakenteen (Wikipedia 2020a).

Pivot-piste on 3D-mallin valittu kääntymispiste (Blender foundation 2020a).

Polygoni on verteksien välille piirtyvä pinta. Polygonin pinnalle muodostuu verteksille määritetty tieto. (Autodesk 2020b).

Polygoniverkko on polygoneista muodostuva kolmiulotteisen mallin rakenne (Rouse, Margaret 2016).

Projisointi tarkoittaa tekstuurin generointia 3D-mallin pinnalle (Blender foundation 2020b).

Tekstuuri eli pintakuviointi on kuvatiedosto, joka heijastetaan 3D-objektin päälle. Se sisältää tietoja kuten värin, kirkkauden, läpinäkyvyyden ja 3D-ympäristössä myös kolmiulotteisia ominaisuuksia. (Webobedia 2020).

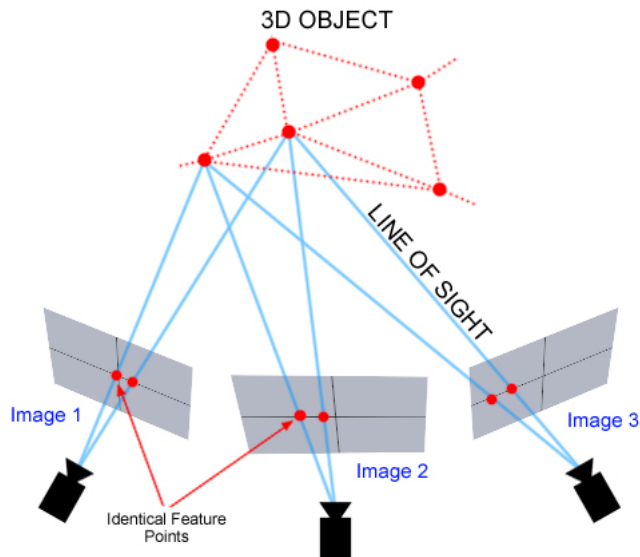
Topologia eli polygoniverkon reunajakauma kertoo, kuinka polygoniverkko jakautuu 3D-mallin pinnalla (Brajdich, Mario 2019).

UV-map on suoristettu kaksiulotteinen representaatio 3D-mallin pinnasta (Denham, Thomas 2020).

Verteksi on kolmiulotteisessa tilassa sijaitseva piste, joka sisältää 3D-mallin tiedon, kuten tekstuurin, heijastavuuden ja sijainnin (Polycount 2020a).

3 Mitä on fotogrammetria?

Fotogrammetria eli kuvamittaus on mittaukseen kehitetty menetelmä, joka laskee kolmiulotteisia koordinaatteja valokuvien pohjalta. Fotogrammetria hyödyntää kolmiomittausmekaniikan periaatetta. Kolmiomittaus perustuu etäisyyden mittaamiseen kulmahavaintojen perusteella. Mittauksessa suorat leikkauspisteet ja niiden muodostamat kulmat toimivat pisteinä kolmen ulottuvuuden mittaamisessa. (Maanmittauslaitos 2020).



Kuvio 1. Kolmiomittauksen periaate. (Clemson University 2020).

Realistiset etäisyydet ja uskottavat mittasuhteet ovat erityisen haastavia toteuttaa sähköisessä 3D-ympäristössä. Nämä ongelmat ovat korjattavissa fotogrammetriaa hyödyntämällä. Orgaanisten elementtien rakentaminen 3D-työkaluilla tuottaa usein hyvin kliinisen ja tasalaatuisen lopputuloksen, jota realismia ja uskottavaa vaikutelmaa tavoitteleva tietokonegrafiikka pyrkii välttämään.

Jotta fotogrammetrian avulla voidaan tuottaa kolmiulotteista dataa, pitää kohteesta olla vähintään kaksi valokuvaa. Laskennan tarkkuus ja 3D-mallin lopullinen muoto määräytyvät laskettavan valokuvadatan määrän ja laadun mukaan.

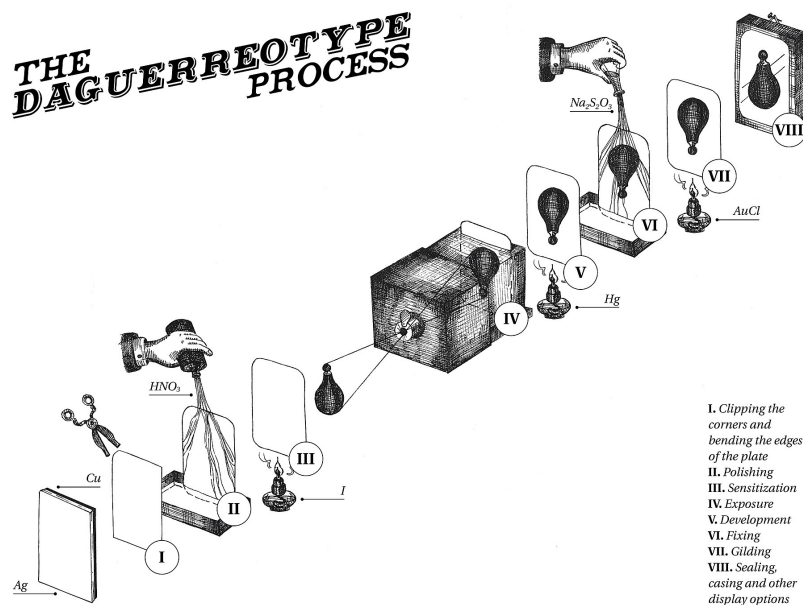


Kuvio 2. Fotogrammetrian avulla opinnäytetyöhön taltioitu villisian kallo.

Fotogrammetria on edullinen, tarkka ja nopea tapa siirtää alue tai kohde sähköiseen muotoon kolmiulotteista visualisointia varten. Monet alat, kuten teollisuus, arkkitehtuuri, lääketiede, rikostutkimus ja maanmittaus, hyötyvät fotogrammetrian antamasta tarkasta 3D-datasta. Myös viihdeteollisuus ja erityisesti elokuva- ja peliala ovat kiinnostuneet fotogrammetrian mahdollisuuksista näyttelijöiden ja kohteiden taltiointiin.

3.1 Historia

Fotogrammetrian historia liittyy valokuvaustekniikan, karttatieteen ja kuvantamismenetelmien kehitykseen. Ensimmäinen tärkeä askel fotogrammetrian kehityksessä oli valo-
valokuvausmenetelmä dagerrotypian synty. Ranskalainen geodeisti Francis Arago käytti tätä menetelmää vuonna 1840 fotogrammetriseen taltiointiin. Ilmakuvat ovat ensimmäisiä fotogrammetrian pääkäyttökohteita. Vuonna 1849 ranskalainen Aimé Laussedat koki ensimmäisen topografisen kartan ottamiensa ilmakuvien avulla, joiden kuvaamiseen hän käytti leijoihin ja ilmapalloihin kiinnitettyjä kameroita. (Xiangyu Shao 2018a).



Kuvio 3. Dagerrotypian työvaiheet. (Wikipedia, 2020).

Fotogrammetrian terminä ja tekniikkana kehitti vuonna 1858 arkkitehti Albrecht Meydenbauer, joka käytti fotogrammetriaa merkittävien historiallisten rakennusten dokumentointiin. Tätä tekniikkaa on myöhemmin hyödynnetty arvokkaiden kulttuuriperintöjen taltiointiin ja ensimmäisten topografisien karttojen luomiseen. (Jörg Albertz 2001, s. 1).

Uusien valokuvausvälineiden käyttöönotto ja ilmakuvauksen hyödyntäminen maantieteellisessä tutkimustyössä veivät myös fotogrammetrian kehitystä eteenpäin. Vuonna 1865 italialainen geodeisti Ignazio Porro suunnitteli fotogoniomeerin, jota käytettiin objektiivin vääristymisen poistamiseen. Keksintö mahdollisti tarkempien valokuvien ottamisen, joka oli välttämätöntä erityisesti karttojen luomisessa. Ensimmäiset ilmakuvat lentokoneesta otti Cesare Tardivo vuonna 1908. Kuvia käytettiin maaston kartoitukseen. Näiden kuvien merkitys oli fotogrammetrian edistymiselle suuri, sillä vuonna 1910 eli vain muutama vuosi tapahtuneen jälkeen perustettiin ensimmäinen kansainvälinen fotogrammetriaan ja kaukokartoitukseen erikoitunut järjestö ISPRS. (Xiangyu Shao 2018b).

Värifilmin ja tietokoneiden keksimisen jälkeen fotogrammetrian kehitys muuttui entistä sähköisempään muotoon. Vuonna 1957 Uuno Vilho Helava kehitti ensimmäisen analyyttisen stereokartoituskojeen, jonka soveltaminen auttoi ensimmäisten sähköisten fotogrammetristen työasemien kehityksessä. (The University of British Columbia 2008).



Kuvio 4. Analyttinen stereokartoituskoje. (Aalto Yliopisto, 2004).

Suurin edistysaskel fotogrammetrian kehitykselle oli vuonna 1967 Gilbert Hobroughin kehittämä automatisoitu ortofotografinen järjestelmä, joka hyödynsi stereokuvan korrelaatiota. Järjestelmä laski eroavaisuuksia valokuvien harmaatasapainossa, johon myös nykyinen fotogrammetria perustuu. (Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu & Richard A. Marston, 2017, s. 5028).

Vaikka fotogrammetrian digitaalinen kehitys alkoi jo 50-luvulla, suurin kehitys kolmiulotteisen grafiikan osalta tehtiin 80-luvulla tietokoneiden kehittyessä graafisilta ominaisuuksiltaan. Digitaalisella aikakaudella fotogrammetria otettiin käyttöön kartoituksen lisäksi myös monilla muilla sovellusaloilla, kuten 3D-mallinnuksen työkaluna.



Kuvio 5. Autodesk ReCap 360 -ohjelmiston avulla taltioitu patsas. (Nick Lievendag, 2018).

Vuonna 1982 John Walker perusti *Autodeskin*, joka on nykyisin johtava 3D-ohjelmistotalan yritys (Wikipedia 2020b). *Autodesk* on 3D-alan merkittävä ohjelmistojen tuottaja ja kehittäjä, joka on erikoistunut myös fotogrammetrian kehitykseen.

Nykyisin fotogrammetriaa hyödyntää tieteellisten tahojen lisäksi viihdeteollisuus. Esimerkiksi *Star Wars Battlefront II* -pelissä hyödynnettiin fotogrammetriaa realistisen ympäristön rakentamiseen mallintamalla luontoa kiviä ja kasveja kuvaamalla. Useat pelistudiot hyödyntävät fotogrammetriaa ympäristön ja hahmojen mallintamiseen tavoiteltavan lopputuloksen saavuttamiseksi. Myös elokuvateollisuus hyödyntää fotogrammetriaa erikoisefektien ja näyttelijöiden taltioimiseen. Elokuvateollisuus pystyy fotogrammetrian avulla luomaan kohtauksia, joiden kohteiden kuvaaminen ei olisi fyysisessä maailmassa mahdollista.



Kuvio 6. Näyttelijän taltiointi fotogrammetrian avulla elokuvasta *Ghost in the Shell*. (Capturingreality.com, 2020).

Ghost in the Shell -elokuva käytti fotogrammetriaa apuvälineenä useissa kohtauksissa. Näissä kohtauksissa näyttelijät oli taltiointi fotogrammetrian avulla ja lisätty jälkikäsitteilyn avulla viimeistelyyn elokuvaan.

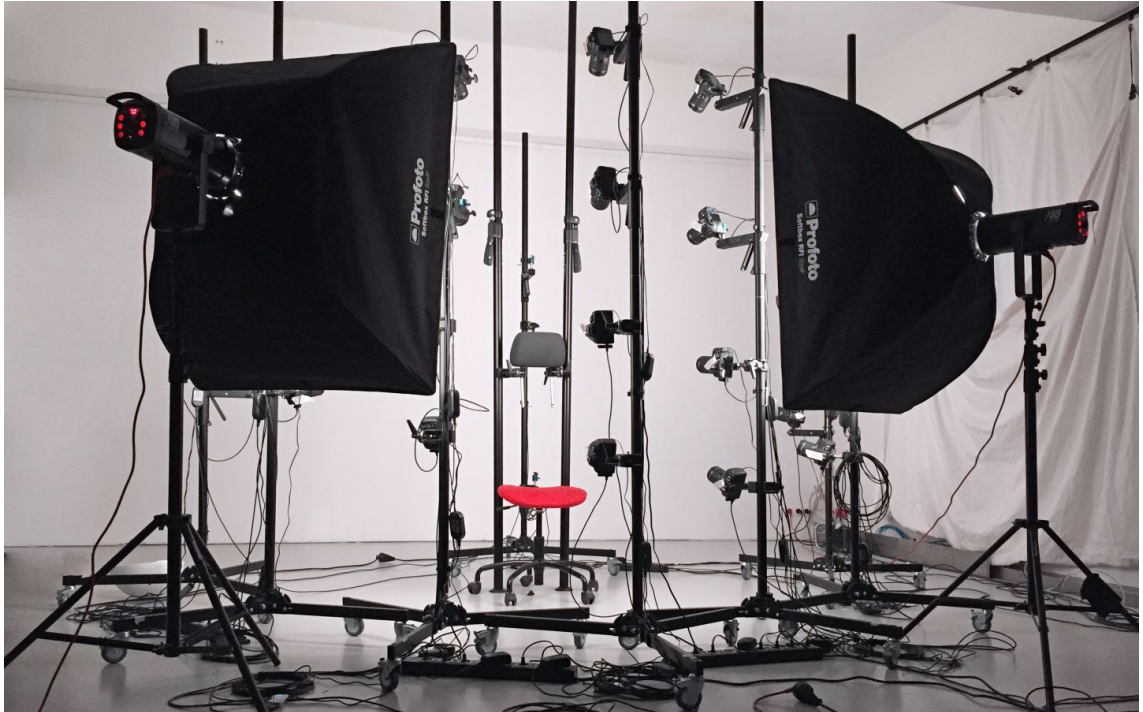
3.2 Kuvausmetodit

Fotogrammetria voidaan kuvausmetodin mukaan karkeasti jakaa kolmeen pääkategoriaan: ilmafotogrammetriaan, lähifotogrammetriaan ja avaruusfotogrammetriaan.



Kuvio 7. Rakennusala hyödyntää droneja ilmafotogrammetriaan. (ParaZero Marketing, 2017).

Ilmafotogrammetriaa suoritetaan tyypillisesti lentokoneeseen, helikopteriin tai miehittämättömän ilma-alukseen kiinnitetyllä, maata kohtisuoraan yläpuolelta kuvaavalla kameralla. Tätä kuvausmetodia hyödynnetään suurien kohteiden, kuten digitaalisten maastomallien, taltioinnissa. Lähifotogrammetriaa suoritetaan tyypillisesti maan tasosta, kohteen ympäriltä kamerajalustalla tai käsivaralla kuvaten. Tämä metodi soveltuu matalien kohteiden kuvaamiseen. Avaruusfotogrammetria hyödyntää taltioinnissa satelliittikuvia. Esimerkiksi Google käyttää tätä metodia kartoituksessa. (Gisresources 2020).



Kuvio 8. Lähifotogrammetriaan soveltuva studio, joka hyödyntää useaa kameraa kuvamateriaalin taltioimiseen. (ARTFABRIK, 2020).

Opinnäytetyössäni sovellan lähifotogrammetrian tekniikoita ja siihen soveltuvia ohjelmistoja alle metrin korkuisten kohteiden taltioimiseen.

3.3 Hyödyt 3D-tuotannossa

3D-tuotannossa korostetaan yleensä niitä elementtejä, joita ihmissilmä kykenee havaitsemaan. Tämä on tärkeää siksi, että katsoja vakuuttuisi näkevänsä oikeita kohteita tietokoneella rakennettujen mallien sijaan. Materiaalin tuntu, mittasuhteet, muoto ja yksityiskohtien syvyys korostuvat valokuvien pohjalta generoitujen 3D-objektien lopputuloksessa. Epäsymmetria, joka toistuu läpi kuvattavan kohteen, vakuuttaa katsojan siitä, että edessä piirtyvä kohde on autenttinen.

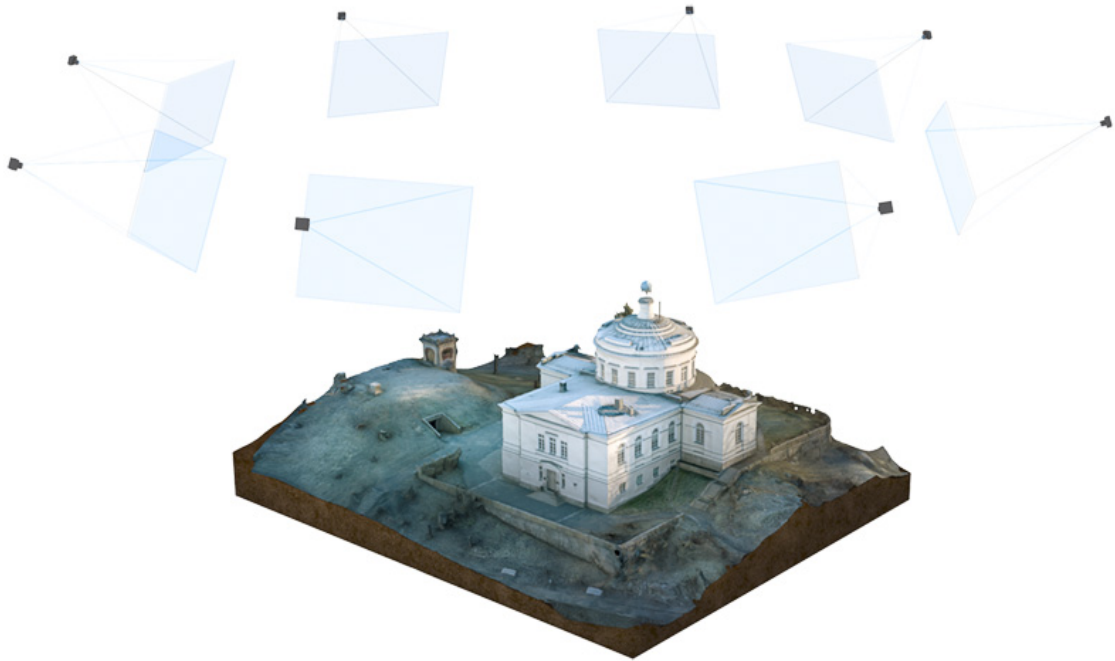


Kuvio 9. Lähifotogrammetriaan avulla taltioitu kenkä. (Pixel Light Effects, 2020).

Fotogrammetria takaa 3D-mallintajalle realistisen lopputuloksen ilman tunteja vievää tutkimustyötä ja tarkan mittakaavan mallinnusta. Mahdollisuus fyysisten objektien tallentamisesta sähköiseen muotoon auttaa sekä tiede- että taidemaailmaa taltioimaan tärkeät löydökset myös tulevaisuudessa käytettäviksi.

3.3 Nykyhetki ja tulevaisuus

Fotogrammetriaa suositetaan taltioinnissa siksi, että sen avulla aineistoa on helppo muokata. Esimerkiksi suunnittelutyössä on kustannustehokasta tehdä kaavoja ja suunnitelmia suoraan kolmiulotteisen mallin päälle elementtejä poistamalla ja lisäämällä. Vanha kaksiulotteinen karttaympäristö ei sisältänyt ajankohtaista tietoa kaikista muuttuvista elementeistä, mikä vaikeutti tarkkojen mittojen laatimista. Erityisesti kaupunkisuunnittelijat ja arkkitehtuuriset tahot hyötyvät ilmakehän pohjaisista fotogrammetrisistä malleista. (A1 media 2020).



Kuvio 10. Esimerkki historiallisesti tärkeän kohteen taltiinnista dronekuvauksen avulla. (A1 media, 2020).

Fotogrammetriaa kehittävät monet yritykset ja tahot, eikä ohjelmistoista ole pulaa. Ohjelmistoja hyödyntävät nykyisin tieteellisten ja teknisten tahojen lisäksi myös studiot, jotka tarvitsevat realistisia malleja luovaan tuotantoon. Kuluttajien mahdollisuudet ovat huomattavasti kasvaneet menneestä, sillä markkinoille on tuotu useita ilmaisia ohjelmia käytettäväksi ja useiden ohjelmistojen lisenssien hinta on laskenut kuluttajalle sopivaksi.

Fotogrammetria tulee kehittymään tulevaisuudessa entistä itsenäisemmäksi työkaluksi. Monien fotogrammetristen ohjelmistojen sisällä 3D-malleja on jo nykyisin mahdollista muokata käyttökelpoisiksi, esimerkiksi yksinkertaistamalla mallin topologiaa. Työvaiheiden automatisointi 3D-tuotannossa tulee kasvamaan jatkuvasti kehittyvien ohjelmistojen myötä. 3D-mallintajan näkökulmasta hyödyllisimmät työkalut riippuvat kuvattavan kohteen kokoluokasta. Osa fotogrammetriseen laskentaan soveltuvista ohjelmista on kehitetty suurten kohteiden kuvamateriaalin käsittelyyn, kuten ilmakuvaukseen ja arkkitehtuuriin tarkoituksiin. Osa ohjelmista toimii puolestaan tehokkaammin pienten yksityiskohtien taltiinnissa, esimerkiksi videopeleissä käytettävien 3D-mallien luomisessa

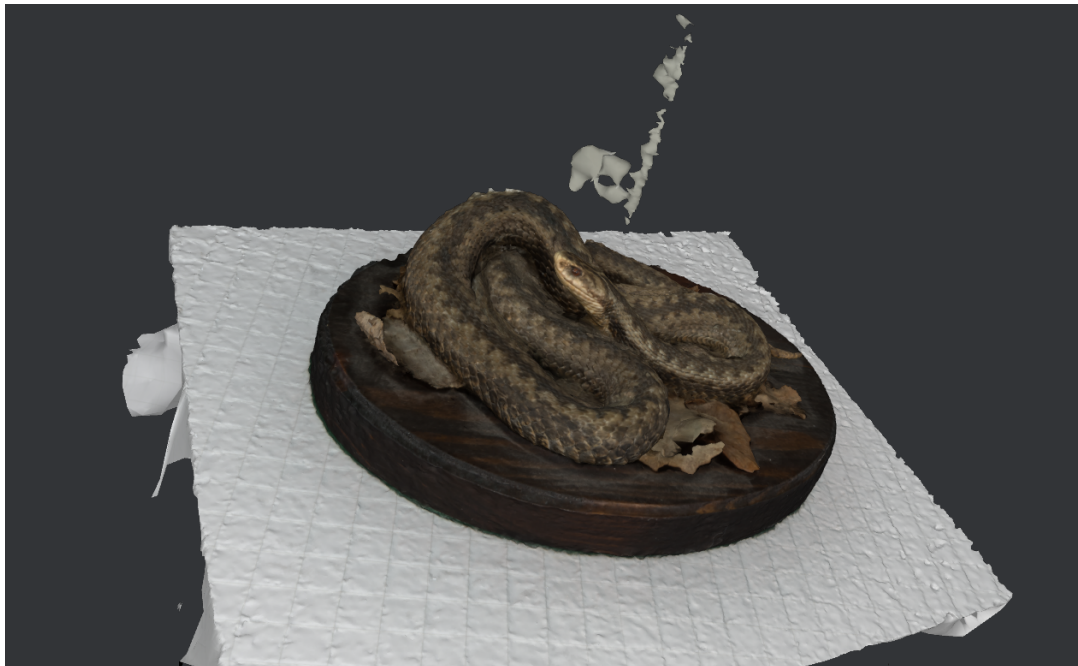
4 Fotogrammetria prosessina

Fotogrammetrian valmistelu vaatii kameran sekä ohjelman, joka käsittelee valokuvatie-dostojen dataa 3D-mallin rakentamiseksi. 3D-mallin toteutus alkaa jo kuvausvaiheessa. Jotta lopullinen 3D-malli onnistuu, tulee kuvaajan ottaa huomioon useita eri tekijöitä. Myös kuvamateriaalia purettaessa on suositeltavaa ottaa huomioon käytettävien ohjel-mien vaatimukset. (Cromptwell 2018).

4.1 Vaadittavat elementit

Valokuvauksessa tärkeintä on saavuttaa tasainen valaistus ja minimoida varjot kuvatta-van kohteen pinnalta. Jos kuvaukset suoritetaan ulkoilmassa, pilvinen sää on kaikista ideaalisin. Suora auringonvalo aiheuttaa voimakkaita varjoja, jotka näkyvät pintatekstuu-reissa ja saattavat vaikuttaa myös laskettavan 3D-mallin muotoon. Sisätiloissa tasainen valaistus saadaan aikaan suodattamalla ikkunoista vuotava valo kuvaustilan ulkopuolelle ja käyttämällä mahdollisimman paljon keinovaloa kuvauskohteen tasaisen valaistuksen takaamiseksi. (Lachambre Sébastien, Lagarde Sébastien & Jover Cyril 2017a, s. 18).

Valokuvaukseen soveltuu kamera, jonka ottamien kuvien syvyysterävyys on määritettä-vissä. Myös megapikselien tarkkuus on otettava huomioon ohjelmistosta riippuen.



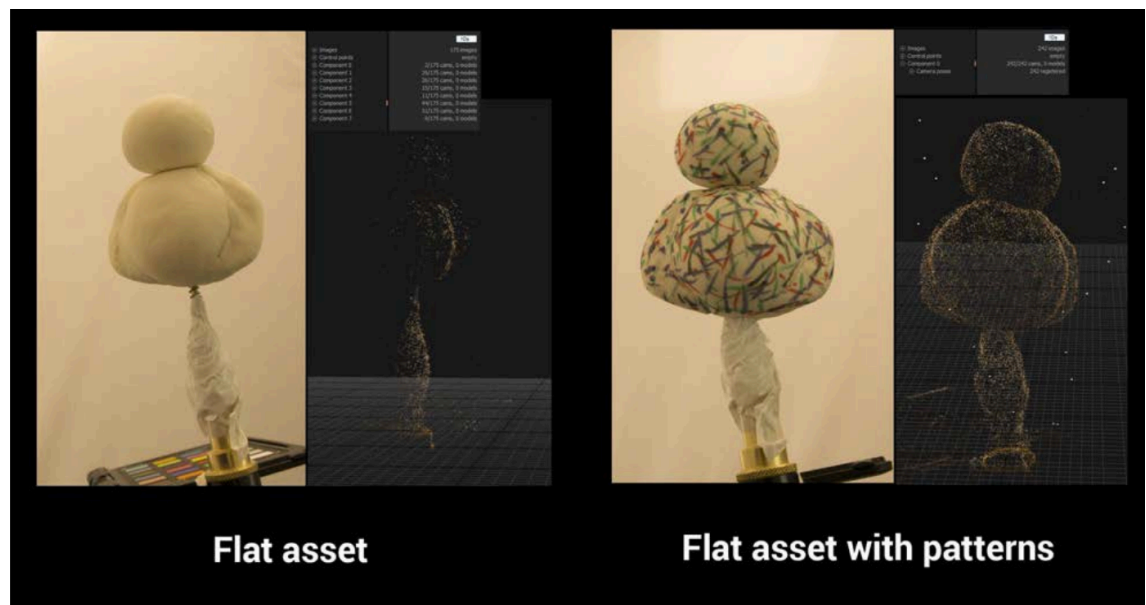
Kuvio 11. Fotografiaa vaatii onnistuakseen riittävästi kontrastin vaihtelua. Kuvassa opinnäytetyötä vasten taltioitu käärme.

Laskennan kannalta tärkeimpiä ovat epäsymmetriset muodot ja kontrastin vaihtelu kappaleen pinnalla. Kuvat eivät saa olla ylivaloittuneita tai väärin tarkentuneita lopulliseen laskentaan vietäessä. Käyttökelvottomat kuvat poistetaan tuotavien kuvien joukosta.

Kuvattava materiaali voidaan taltioida yksittäisinä valokuvina tai videon muodossa. Ilma-
kuvauksissa hyödynnetään lennokeilla, lentokoneista tai helikoptereista kuvattuja vide-
oita, kun puolestaan ihmisiä tai esineitä taltioidaan tyypillisesti yksittäisten kuvien mu-
dossa. On suositeltavaa vaihdella kuvausasetuksia ja kuvausmetodeja kohteesta riip-
puen. (Lachambre Sébastien ym., 2017b, s. 20).

4.2 Ongelmakohtien tunnistaminen

Kaikista olennaisinta valokuvattaessa sisältöä fotogrammetriseen käyttöön on ottaa huo-
mioon ympäröivät riskitekijät. Kun kaiken tarvittavan huomioi valokuvausvaiheessa, on
valmiin 3D-datan käsittely yksinkertaisempaa ja nopeampaa.



Kuvio 12. Kohteen yksityiskohdat vaikuttavat lopullisen mallin onnistumiseen. (Lachambre Sébastien, Lagarde Sébastien & Jover Cyril, 2017).

Sekä kuvattava kohde että sen ympäristö tulee huomioida. Valokuvassa on olennaista pitää kiiltävät ja täysin mustat pinnat mahdollisimman vähäisinä tai poistaa ne kuvauksista kokonaan, sillä fotogrammetriaa laskevilla ohjelmistoilla on vaikeuksia tunnistaa näitä elementtejä. (Annukka Debenjak-Ijäs, 2014).

5 Fotogrammetrian työkalut

Fotogrammetria vaatii onnistuakseen useita erilaisia työvälineitä. Nämä ovat kuitenkin saavutettavissa hyvin pienillä investoinneilla. Työvälineiden määrä ja laatu vaikuttavat mallin lopputulokseen, mutta käyttämällä vaadittavia työtapoja ja työvälineitä oikein on jokaisella mahdollisuus luoda käyttökelpoisia 3D-malleja.

5.1 Kamera

Valokuvaajalta fotogrammetria vaatii vakaata kuvausalustaa ja oikein valittuja kamera-asetuksia. Kameran kuvanlaatu määrittää lopullisen mallin pinnan yksityiskohtaisuuden ja tekstuurien laadun, mutta suorittaakseen onnistunutta laskentaa fotogrammetria vaatii kuvausvälineitä hyvin vähän. Kohdetta parhaiten palveleva kuvausratkaisu kannattaa valita taltioitavan kohteen mukaan. Esimerkiksi suuria kohteita kannattaa kuvata kameralla, jonka tarkkuus riittää yksityiskohtien taltioimiseen myös pitkillä etäisyyksillä.

3D-mallin onnistunut laskenta vaatii suurta syvyysterävyyttä. Kuvaaminen tapahtuu pääasiassa pienellä objektiivin aukkoluvulla, jolloin koko kuva-ala on tarkka ja kuva jää mahdollisimman teräväksi. Valokuvien taustan tulee olla yhtä terävä kuin itse kuvattavan objektin, sillä fotogrammetriaa suorittavat ohjelmat laskevat tulevan 3D-objektin sijainnin ja koon pisteavaruudessa taustasta saatavan paikkatiedon mukaan.

Jotta fotogrammetrinen laskenta ilmaisohjelma *Meshroomissa* onnistuu, kameran vaatimuksiin kuuluu vähintään 5 megapikselin tarkkuus (CG Geek 2018).

5.2 Valaistus

Valokuvauksessa hyödynnetään kohteen ympäröivää tasaista valaistusta, joka ei aiheuta varjoja kuvattavan kohteen ympärille tai pinnalle. Fotogrammetriassa valittu ohjelma laskee objektin pinnan värin eli tekstuurin sekä syvyyserot valokuvien perusteella,

ja siksi on erityisen tärkeää välttää voimakkaiden varjojen muodostumista. Valokuvat eivät saa ylivalottua, sillä se aiheuttaa laskennallisia ongelmia kuvamateriaalin käsittelyvaiheessa. Värien osalta kylmä valaistus on kaikista ideaalisin.



Kuvio 13. Tasainen valaistus on helppo saavuttaa pientä kohdetta valaistaessa. (Mikaela Holmes, 2020).

Jos valokuvausta tehdään ulkotiloissa, pilvinen sää on suositeltavin vaihtoehto kuvattavan kohteen valaisussa. Suora auringonvalo luo voimakkaita varjoja, jotka vaikuttavat sekä kohteen laskentaan että lopullisen pintatekstuurin väreihin. On tärkeintä varmistaa, että kuvamateriaalin valaistus ei vaihtele voimakkaasti. Sisätiloissa kuvattaessa on huolehdittava, että ikkunoista vuotava valo ei pääse vaikuttamaan tilan valaistukseen. (BBB3VIZ 2016).

5.3 Kuvausympäristö

Fotogrammetria hyödyntää valokuvista laskettuja kiintopisteitä rakentaessaan kolmiulotteista tulkintaa objektista. Jos kuvattava kohde on kuvaustilanteessa kiintopiste, on varmistettava, että kuvausympäristö sisältää riittävästi taustaelementtejä laskentaa varten. Jos kuvauskohdetta halutaan pyörittää alustan päällä, kannattaa suosia yksinkertaista

muuttumatonta taustaa. Tämänkaltainen ympäristö on helppo rakentaa studioympäristöön esimerkiksi yksivärisestä sileästä kankaasta ja pyöritettävästä jalustasta.

5.4 Kohde

Kuvattavan kohteen pinnan tulee olla mahdollisimman heijastamaton. Korkeakiiltoiset kohteet luovat heijastuksia, joiden laskentatulokset vaihtelee ja tekstuuriin hyödyntäminen heikkenee. Jos kuvattava kohde on kuitenkin kiiltävä, on suositeltavaa peittää kiiltävät pinnat jotenkin, esimerkiksi kiiltoa vähentävällä jauheella. Myös täysin heijastamaton pinta, kuten pikimusta kangas, on laskennalta haastava. Jos kuvattava kohde on kauttaaltaan musta, on suositeltavaa laskea kuvien kontrastia ja lisätä kuvien valoisuutta. (Shachar Weis, 2019).



Kuvio 14. Kiiltävä kuvauskohde, joka on maalattu heijastamattomalla maalilla ja piirretty täyteen yksityiskohtia laskennan tehostamiseksi. (Mikaela Holmes, 2020).

Ohuet osat, kuten kasvien lehdet ja karvat, ovat haasteellisia kuvauskohteita. Fotogrammetriaa laskevat ohjelmat eivät kykene laskemaan kohteita, joissa pinta-ala vaihtelee suunnan mukaan, esimerkiksi kadoten kokonaan eri puolilta kuvatessa.

Kaikista ihanteellisimmin kuvauskohde on heijastamaton pinta, jonka pintatekstuuriin kuvio vaihtelee ja on kauttaaltaan epäsymmetrinen.

5.5 Kuvausalusta

Fotogrammetriaa varten valokuvattaessa suositellaan mahdollisimman suuren pinta-alan taltioimista valitusta kohteesta. Tämä tarkoittaa myös kohteen pohjan hyödyntämistä, jos siihen on mahdollisuus.

Jalusta mahdollistaa näkyvyyden kuvattavan kohteen alle, jos lopullinen malli vaatii myös objektin pohjan taltioitavaksi. Valokuvaajan tulee pyrkiä saamaan koko objekti valokuvattua, joten suurien objektien, kuten patsaiden, kohdalla suositellaan hyödyntämään ratkaisua, jolla saadaan myös patsaan yläosa kuvattua tarpeeksi huolellisesti.

5.6 Ohjelmistot

Fotogrammetriaa suorittavia ohjelmistoja löytyy markkinoilta useita. Ilmaiset fotogrammetriaa laskevat ohjelmistot ovat oman kokemukseni pohjalta riittäneet ammattitasoisen lopputuloksen aikaansaamiseksi lähifotogrammetriaa laskettaessa. Fotogrammetriaa työssään hyödyntävien 3D-mallintajien suosittelemia ohjelmistoja ovat esimerkiksi *Meshroom*, *Autodesk ReCap* ja *RealityCapture* (Max von Übel, 2020). Näistä ohjelmista löytyy runsaasti tietoa ja ohjeita, joiden avulla löytää omalle projektilleen sopivan ratkaisun. Opinnäytetyön aikana hyödynsin ilmaista *Meshroom*-ohjelmistoa, joka osoittautui hyvin käyttäjäystävälliseksi.

6 Tutkimuksen toteutus

Aloitin tutkimuksen rakentamisen kuvattavan aiheen rajauksella. Tarvitsin tarpeeksi yksityiskohtaisia mutta liikkumattomia kohteita, joten päädyin hyödyntämään täytettyjä eläimiä tutkimuksen pohjana. Opinnäytetyötä valmistellessa otin yhteyttä Otaniemen luonnontiedelukion opettaja Seppo Hietarantaan, joka antoi minun käyttää lukion tiloja ja sen täytettyjä eläimiä valokuvauksissa.

Valitsin lukion eläimistä useita sopivia kohteita, jotka täyttivät tarvittavat vaatimukset onnistuneen fotogrammetrisen 3D-mallin takaamiseksi. Opinnäytetyössäni esittelen laskeutuista malleista onnistuneimman ja näyttävimmän, Netta Lempiäisen täyttämän huuhan, taltioinnin sähköiseen muotoon.

6.1 Tutkimus

Kuvauksissa valokuvaukseen käytin Nikon D7200 -järjestelmäkameraa. Kohde valaistiin neljästä suunnasta mahdollisten varjojen eliminoimiseksi. Kuvausvalot olivat kaikki ledi-valoja, joista kaksi oli varustettu diffuusorikankaalla valaistuksen pehmentämiseksi. Luokkatilassa, jossa kuvaukset suoritettiin, oli vastakkaisilla seinillä ikkunat, joista vuoti

kuvauksiin luonnonvaloa. Tämä ei kuitenkaan ollut ongelma, sillä kuvauspäivä oli pilvinen ja valaistus pysyi hyvin tasaisena koko kuvausten ajan.



Kuvio 15. Kameran asetukset kuvaustilanteessa.

Kuvasin kohteet kahdella eri lähestymistavalla, joissa jokaisesta kohteesta otettiin kuvia kolmelta eri korkeudelta; viistosti kohteen yläpuolelta, suoraan kohteen edestä ja viistosti kohteen alapuolelta. Kuvausasetukset säilytettiin samoina läpi kuvausten. Kohteet pyrin kuvaamaan samalta etäisyydeltä, jotta syvyysterävyys säilyisi mahdollisimman tasalaa-tuisena.



Kuvio 16. Kuvauskohde asetettuna panoraamajalustan päälle kuvaustilanteessa.

Suoritin ensimmäisen kuvausmetodin asettamalla kuvauskohteet käännettävälle panoraamajalustalle, jota käännsin kuvausten aikana 10 asteen välein, kunnes kohde oli kääntynyt aloituspisteeseen saakka. Taltioin tämän metodin aikana ainoastaan kuvattavan kohteen ilman taustalla olevia kiintopisteitä. Koska kuvauksista puuttui tasainen, yksivärinen tausta, rakensin kolmesta suuresta pöydästä sopivan ratkaisun tätä kuvausvaihetta varten. Kuvausmetodi oli hyvin hidaskäyttöinen sillä jokainen kuvakulma tuli kääntää käsin.



Kuvio 17. Opinnäytetyötä varten rakennettu studio Otaniemen luonnontiedelukion tiloissa.

Seuraavan kuvausvaiheen suoritin käsivaralla kuvaten ja vapaasti, ilman kamerajalustaa kohdetta kiertäen. Tämän kuvauksen aikana otin 25 kuvaa jokaisesta kohteesta vaihtelevilta korkeuksilta. Oikean etäisyyden säilyttäminen ja korkealaatuisten kuvien ottaminen oli hyvin haastavaa. Tässä työvaiheessa poistin valkoisen taustan ja otin kaikki taustalla olevat kohteet valokuviiin mukaan. En hyödyntänyt ulkoista näyttöä käsivaralla kuvaten, joten kuvan laadun tarkkaileminen jäi tässä työskentelyvaiheessa toissijaiseksi. Kuvauskaluston väistely ja kuvaajan kehosta syntyvien varjojen välttely osoittautuivat haastavaksi käsivaralla kuvattaessa. Käsivaralla kuvaaminen oli erittäin nopea työtap.

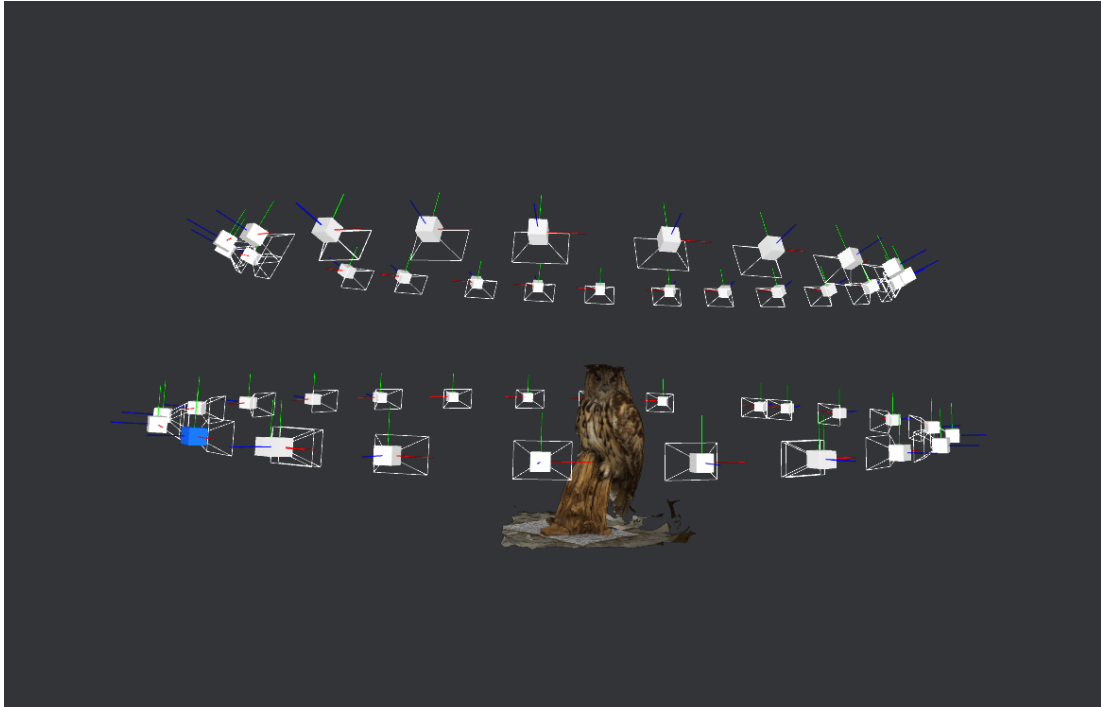
Kuvausten valmistelu ja oikeiden ratkaisujen löytäminen kuvaustilassa on ehdottomasti työläin vaihe valokuvasisältöä luotaessa. Koska kaikkien valokuvien onnistumisesta ei ollut varmuutta kuvaustilanteessa, otin valokuvia useammasta kohteesta ja kahdella eri tekniikalla. Valokuvauksiin suosittelen tehokasta kannettavaa tietokonetta, jotta kuvajalla olisi mahdollisuus laskea ensimmäinen malli paikan päällä, sillä valokuvien onnistuminen on hyvin yksilöllistä kohteesta ja sijainnista riippuen. Kuvauksissa käyttämäni kameraan kiinnitettävä ulkoinen näyttö osoittautui hyvin hyödylliseksi. Sen avulla kuvattavaa kohdetta pysyy tarkastelemaan suurempana kuvaustilanteessa ja varmistamaan ettei otetuissa kuvissa ollut laskentaa häiritsevää kohinaa.

6.2 Valokuvasisällön käsittely

Lopullisen 3D-mallin laskentaan tarvitaan sekä fotogrammetrista ohjelmaa että lasketun mallin siistimiseen tarkoitettua valinnaista 3D-ohjelmaa.

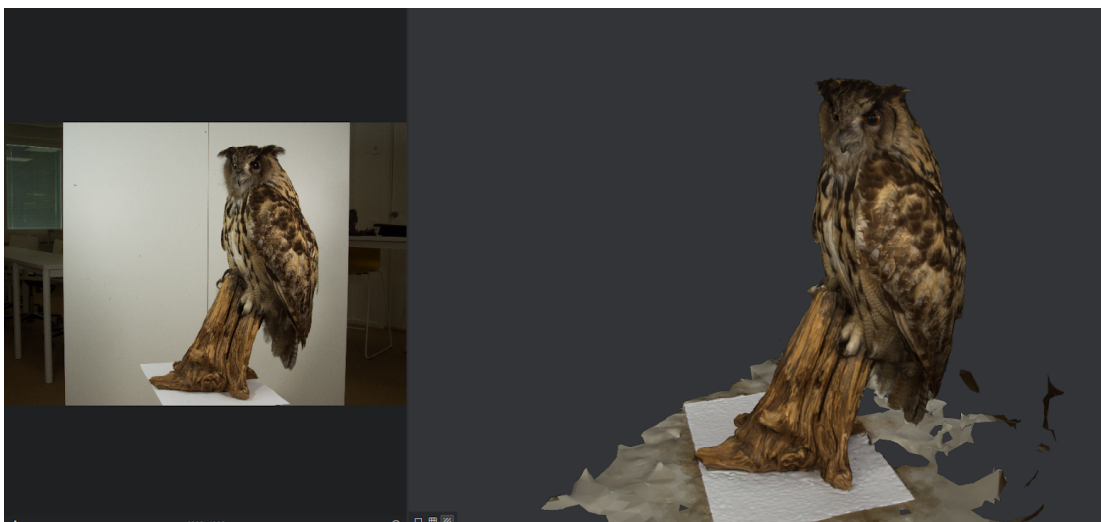
Fotogrammetrisessä laskennassa hyödynsin ilmaista *Meshroom*-ohjelmistoa. Versio 2019.2.0. *Meshroom* ranskalaisen tutkimusryhmä *Imaginenen* kehittämä, fotogrammetrista laskentaa suorittava ohjelmisto, joka on luotu vapaaseen käyttöön. Solmupohjainen *Meshroom* antaa käyttäjälleen kaikki tarvittavat noodit 3D-mallin laskentaan. Noodien editointi ei ole välttämätöntä laadukkaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Ohjelma vaatii ainoastaan käyttäjältään valokuvatiedostoja, joiden minimitarkkuudeksi suositellaan 5 megapikseliä. (Meshroom 2020).

Ohjelmiston käynnistyessä avautuu päänäkymä, johon valitut kuvat tuodaan laskentaa varten. Helpoin tapa tuoda tiedostot on valita kaikki tarvittavat kuvat ja raahata ne suoraan ohjelman kuvatiedostoille varattuun ikkunaan. *Meshroom* laski 50 kuvasta keskimäärin viidessätoista minuutissa yhden teksturoidun 3D-mallin.



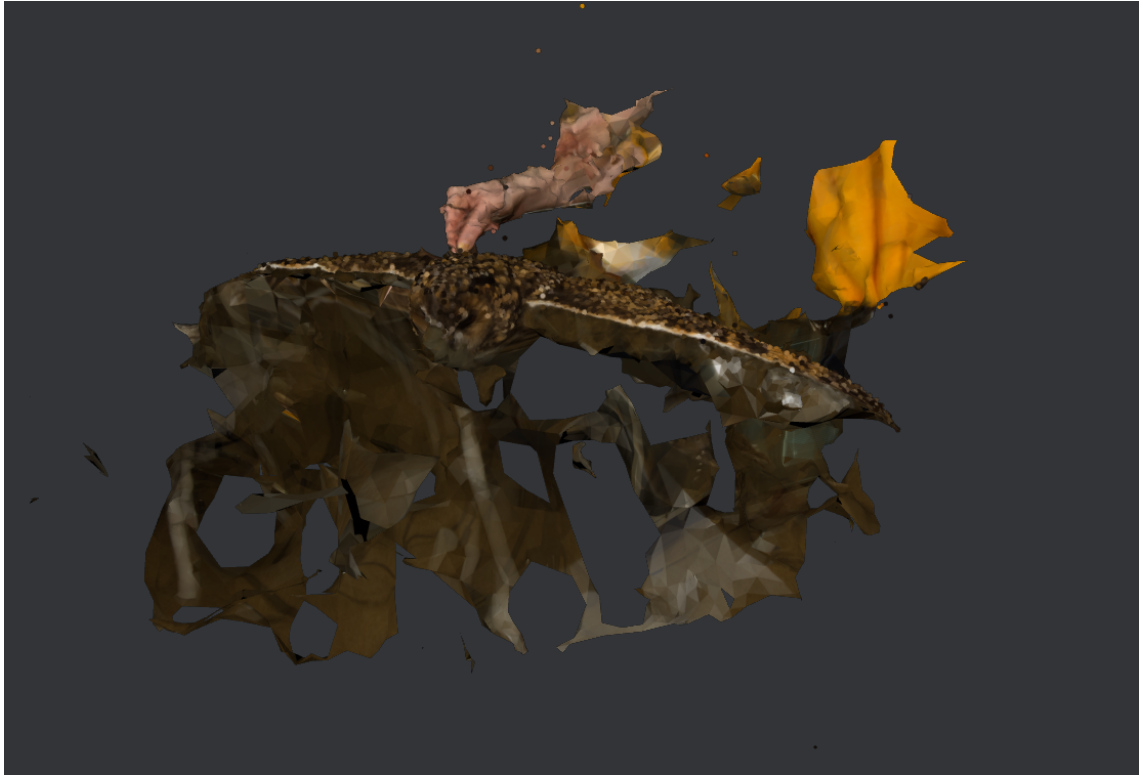
Kuvio 18. Meshroom-ohjelmistossa rekonstruoitu 3D-malli. Näkymässä on esitetty kunkin käytetyn valokuvan kameran sijainti.

Laskin yhteensä kuusi 3D-mallia, joista kaksi onnistui niin hyvin, että niitä olisi voinut hyödyntää sellaisenaan. Toinen näistä 3D-malleista oli opinnäytetyössäni esitelty huuhaaja. Suuri osa lasketuista malleista onnistui ja vaati pientä korjaamista, mutta osa käsi-varalla kuvatuista malleista epäonnistui täysin. *Meshroom* laski ensimmäisen valokuvametodin avulla kuvatut kohteet onnistuneesti.



Kuvio 19. Näkymä *Meshroom*-ohjelmiston sisältä. Vasemmalla on ohjelmaan syötetty kuvamateriaali ja oikealla fotogrammetrian avulla laskettu 3D-malli.

Toisella kuvausmetodilla eli käsivaralla kuvaamalla valokuvista syntyi hyvin epämuodostuneita 3D-malleja, joista *Meshroom* jätti kaksi täysin laskematta. Syyt metodin epäonnistumiselle olivat todennäköisesti valitut kamera-asetukset ja oikean etäisyyden löytäminen kuvaustilanteessa.



Kuvio 20. Epäonnistunut *Meshroomin* laskema 3D-malli.

Liian pitkä suljinaika aiheuttaa epätarkkoja valokuvia kameran kuvausalustan liikahtaessa, mikä on käsivaralla kuvattujen kuvien kohdalla hyvin tyypillistä. Tämä olisi ollut korjattavissa hyödyntämällä esimerkiksi gimbal-jalustaa, joka vähentää käden aiheuttamaa heilumista kuvaustilanteessa.

6.3 3D-mallin käsittely

3D-mallin jatkokäsittelyyn latasin ilmaisohjelma *Blenderin*, versio 2.82. *Blender* on avoimen lähdekoodin ohjelmisto 3D-grafiikan tuottamiseen (Blender 2020).



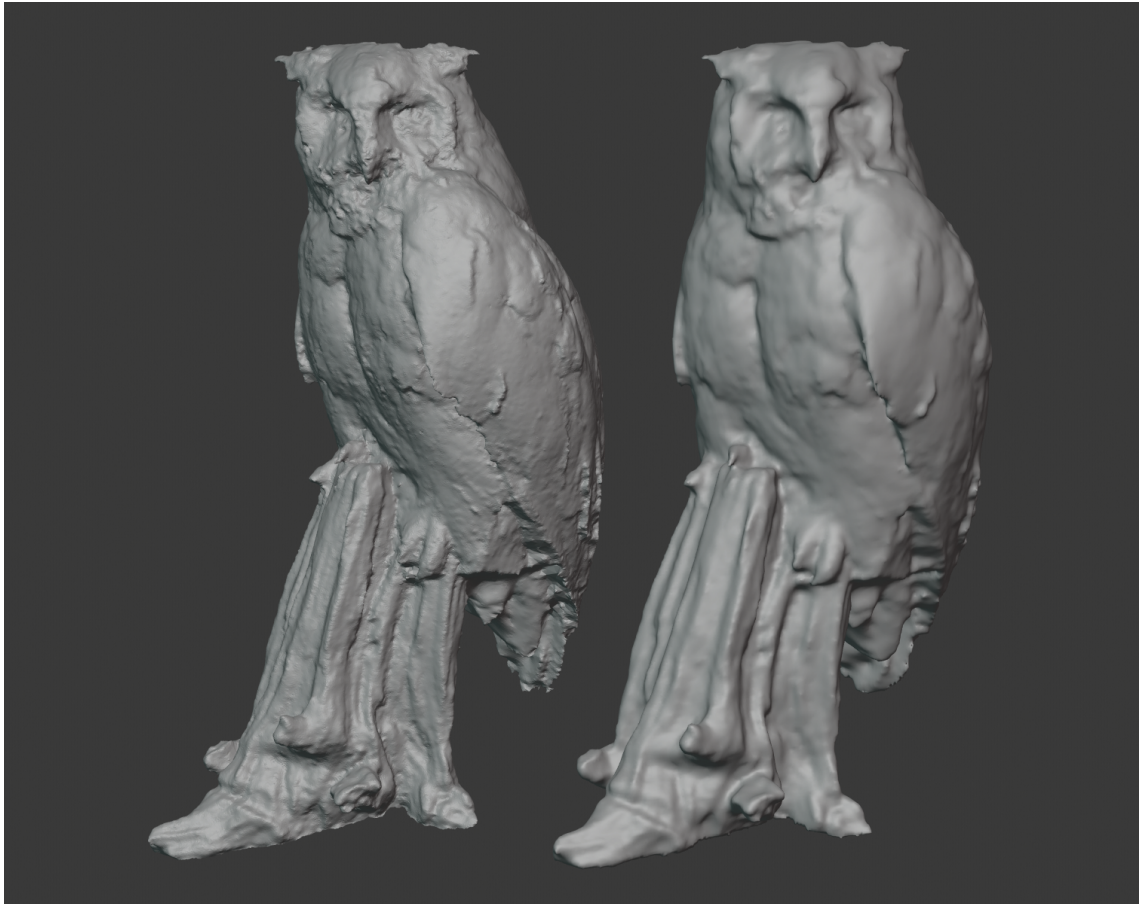
Kuvio 21. Tarpeettomat verteksit pöllön ympärillä ennen *Blenderiin* vientiä.

Meshroomin luoma .obj-tiedosto sisälsi kaiken tarvitsemäni informaation tekstuurien ja 3D-mallin uudelleenrakentamiseksi. Mallin polygoniverkko oli todella siisti ja lähes käytökelpoinen ilman muokkaamista, mutta halusin siistiä sen topologiaa, vähentää verteksin kokonaismäärää ja pienentää tiedoston kokoa. Tuotu 3D-malli näkyi työtilassa väärin suhteessa näkymän koordinaatteihin, joten siirsin mallin keskipisteeseen ja keskitin pivot-pisteen aivan mallin pohjaan. Kopioin alkuperäisen tiedoston kahdeksi erilliseksi malliksi, joista toisen vein alkuperäisen mallin viereen työstimistä varten.

Kokeilin eri työkaluja objektin polygoniverkon harventamiseen ja siistimiseen. Aloitin hyödyntämällä polygoniverkon harventamiseen decimate-muunnostyökalua ja pehmentämiseen smooth-muunnostyökalua. Polygoniverkko jäi kuitenkin liian epätasaiseksi ja kadotti samalla liikaa yksityiskohtia tulevasta mallista. Seuraavaksi kokeilin rakentaa polygoniverkon remesh-muunnostyökalun avulla, joka puolestaan tuhosi 3D-mallin siluettia liikaa.

Kolmas työkalu, jota kokeilin polygoniverkon ja tekstuurien säilyttämiseksi, oli subdivide-muunnostyökalu. Lisäsin sen avulla kopioidun tiedoston polygoniverkon harvempiin koh-

tiin lisää verteksejä, jotta seuraavassa työvaiheessa pöllön siluetti ei kärsisi samalla tavalla kuin aikaisemmissa kokeiluissa. Poistin tarpeettomat polygonit objektin ympäriltä sekä kannon pohjalta tiedoston optimoimiseksi.



Kuvio 22. Vasemmalla alkuperäinen *Meshroomin* laskema 3D-malli siistittynä ja oikealla *Blenderin* sisällä editoitu uusi malli lasketulla verteksimäärällä.

Aloittaessani mallin siistimisen *Blenderin* avulla 3D-malli sisälsi yhteensä 464.172 verteksiä. Kun poistin pöllön ympäriltä tarpeettomat verteksit ja kannon pohjan, mallin tiheys laski 436.670 verteksiin.

Editoidessani mallin polygoniverkon tiheyttä muunnostyökaluilla mallin tiheys laski 110.765 verteksiin. Halusin säilyttää muokatussa pöllössä mahdollisimman paljon muotoa alkuperäisen mallin siluetista. Metodi toimi odotetusti, ja korjasin muutamia verteksin aiheuttamia piikkejä ja koloja 3D-mallin pinnalta *Blenderin* veistotyökalujen avulla.



Kuvio 23. Polygoniverkon tiheyden eroavaisuudet vanhan ja uuden mallin välillä.

Muutin muokatun 3D-mallin topologian takaisin kolmioiksi triangulate-muunnostyökalun avulla. Tämä työvaihe on oleellinen, jos 3D-malli halutaan siirtää esimerkiksi pelimoottoriin, sillä 3D-grafiikassa mallin pinnat lasketaan kolmioina (Polycount 2020b).

3D-mallin polygoniverkko muuttui huomattavasti editointivaiheessa, ja tästä syystä alkuperäisen 3D-mallin tekstuurit eivät enää toimineet uuden mallin pinnalla. Koska alkuperäinen topologia oli muuttunut, tuli muokattuun 3D-malliin projisoida uudet tekstuurit alkuperäisestä mallista. Tekstuurien projisointia varten uusi 3D-malli vaatii uv-mapin, jonka pinnalle tekstuuritieto tallennetaan. Suoritin tämän työvaiheen smartuv mapping-työkalun avulla, sillä en kokenut objektin uv-mapin muodon olevan oleellinen uuden 3D-mallin käyttötarkoituksen kannalta.

Jotta uudet tekstuurit projisoituisivat mallin pinnalle oikein, vein mallit sisäkkäin 3D-tilan keskelle ja suurensin uutta 3D-mallia suhteessa alkuperäiseen 3D-malliin niin, että vanha malli jäi uuden mallin sisään. Näin varmistin tekstuurin oikeaoppisen projisoitumisen, sillä jos uusi polygoniverkko leikkautuu alkuperäisen alkuperäinen mallin kanssa,

voi uudesta tekstuurista puuttua väri-informaatiota ja kuvan mittasuhteet voivat vääristyä (Blender 2020).

Loin uuden diffuse-materiaalin muokatulle 3D-mallille ja bake-työkalun avulla siirsin tekstuurin uuden 3D-mallin uv-mapin pinnalle. Mallin tekstuureista löytyi pieniä virheitä, kuten valkoisia pisteitä uv-saumojen leikkauspisteissä. Korjasin virheet maalaamalla tekstuurit käsin texture paint-työkalun avulla.



Kuvio 24. Viimeistelty 3D-malli kahdesta suunnasta esitettynä.

7 Yhteenveto

Tutkimukseni tavoite oli tuottaa mahdollisimman onnistunut 3D-malli hyödyntäen valokuvamateriaalin pohjalta laskettua 3D-dataa. Koen onnistuneeni tavoitteessa odotusteni mukaisesti. Vaikka *Meshroom* oli ohjelmistona minulle tuntematon, sen käyttö oli hyvin helppoa ja yllätyin lasketun mallin onnistuneesta polygoniverkosta.

Opin fotogrammetriasta paljon myös tekemieni virheiden kautta. Kahden kuvausmetodin hyödyntäminen osoittautui oikeaksi valinnaksi laskentavaiheessa, sillä valokuvauksen aikana tehdyt virheet paljastuivat vasta valmistuneista 3D-malleista. Kameran suljinaika ei soveltunut käsivaralla kuvaamiseen, ja osa kuvista paljastui käyttökelvottomiksi. Kuvausvaiheessa näiden virheiden huomioon ottaminen on hyvin haastavaa mutta mahdollista, jos ongelmakohdat osaa ennaltaehkäistä.

Tutkimusta tehdessäni hain tietoa vaihtelevista lähteistä, ja suuri osa fotogrammetrian kuvaamisessa tarvittavista käytännön ohjeista löytyi internetfoorumeilta ja erinäisistä videolähteistä. Koska lähifotogrammetria on suhteellisen moderni tekniikka 3D-mallintajien keskuudessa, samat lähde-tekstit toistuivat usein. Monet fotogrammetriasta kertovat artikkelit tai ohjeet eivät antaneet suoraa tietoa käytetyistä kamera-asetuksista tai välineistä, joten suoritin kuvakset omien aikaisempien kokemusteni pohjalta. Halusin jakaa mahdollisimman tarkasti kuvauksen vaiheet, jotta opinnäytetyöstä kiinnostuneet voivat niiden pohjalta soveltaa toimivia ratkaisuja omiin projekteihinsa.

Oikean tiedon löytäminen oli haastavaa, mutta sain paljon hyödyllistä yleistietoa etsiessäni opinnäytetyöhön soveltuvaa kirjallisuutta fotogrammetrian ja 3D-grafiikan alalta. Vieraskielinen lähdemateriaali aiheutti vaikeuksia käännöstyössä, sillä monilla termeillä ei ole suomenkielistä vastinetta tai niiden suora käännös on hyvin harhaanjohtava tai kankea. Luotettavaa lähdetietoa oli saatavilla useilta ohjelmistojen kehittävien yritysten sivuilta.

Tutkimuksen kautta opin paljon uutta valokuvauksesta, fotogrammetrian perusteista, fotogrammetrisen materiaalin käsittelystä sekä sen tuomista mahdollisuuksista media-alalla. Fotogrammetria on hyödyllinen työkalu, joka nopeuttaa 3D-mallitajan työtä ja antaa korkealaatuisia 3D-malleja, joiden pohjalta voi soveltaa lähes mitä tahansa sisältöä. Ennen kaikkea opinnäytetyön tekeminen antoi minulle todella vankan ymmärryksen fotogrammetrian käytöstä oikean maailman taltioimiseen.

Lähteet

A1 media, 2020. Fotogrammetriset 3D-mallit [verkkosivu]. <<https://www.a1media.fi/osaamme/fotogrammetria>> (luettu 10.4.2020).

Albertz, Jörg 2001. Albrecht Meydenbauer - pioneer of photogrammetric documentation of cultural heritage, 1 [Verkkodokumentti]. <http://www.theulegium.de/fileadmin/user_upload/Texte/Meydenb.pdf> (luettu 6.4.2020).

Autodesk, 2020a. Photogrammetry software [verkkosivu]. <<https://www.autodesk.com/solutions/photogrammetry-software>> (luettu 15.4.2020).

Autodesk, 2020b. Introduction to polygons [verkkosivu]. <<https://knowledge.autodesk.com/support/maya-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/MayaLT/files/Polygons-overview-Introduction-to-polygons-htm.html>> (luettu 15.4.2020).

BBB3VIZ, 2016. The poor man's guide to photogrammetry [verkkosivu]. <<https://bertrand-benoit.com/blog/the-poor-mans-guide-to-photogrammetry/>> (luettu 20.4.2020).

Blender Foundation, 2020a. Pivot point [verkkosivu]. <https://docs.blender.org/manual/en/latest/scene_layout/object/editing/transform/control/pivot_point/index.html> (luettu 15.4.2020)

Blender Foundation, 2020b. UV project modifier [verkkosivu]. <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/modify/uv_project.html> (luettu 15.4.2020).

Brajdich, Mario 2019. Basics of topology in 3D modeling [verkkosivu]. <<https://elementza.com/how-to-understand-topology-in-3d-modeling/>> (luettu 15.4.2020).

CG Geek, 2018. How to 3D Photoscan Easy and Free [verkkosivu]. <<https://www.youtube.com/watch?v=k4NTf0hMjtY>> (katsottu 6.4.2020).

Cromptwell, 2018. Photogrammetry in Meshroom & Blender [verkkosivu]. <<https://www.youtube.com/watch?v=RmMDFydHeso>> (katsottu 20.4.2020).

Debenjak-Ijäs, Annukka 2014. Digitaalinen fotogrammetria: uusi menetelmä suomalaisen arkeologian kentälle? [verkkodokumentti]. <https://www.academia.edu/9262215/Digitaalinen_fotogrammetria_uusi_menetelm%C3%A4_suomalaisen_arkeologian_kent%C3%A4lle> (luettu 20.4.2020).

Denham, Thomas 2020. What is UV Mapping & Unwrapping? [verkkosivu]. Concept Art Empire. <<https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/>> (luettu 15.4.2020).

Gisresources, 2014. Basics of Photogrammetry [verkkosivu]. <http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/> (luettu 6.4.2020).

Lachambre Sébastien, Lagarde Sébastien & Jover Cyril 2017a, s. 18. Equipment and Software, equipment [verkkodokumentti]. <https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf> (luettu 20.4.2020).

Lachambre Sébastien, Lagarde Sébastien & Jover Cyril 2017b, s. 20. Acquisition, what [verkkodokumentti]. <https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf> (luettu 20.4.2020).

Maanmittauslaitos, 2020. Kolmiomittaustekniikka [verkkosivu]. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/tietoa-maanmittauslaitoksesta/teemat/struven-ketju/kolmiomittaustekniikka>> (luettu 15.4.2020).

Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu, Richard A. Mars-ton, 2017. International Encyclopedia of Geography, 15 Volume Set: People, the Earth, Environment and Technology. John Wiley & Sons, s. 5028.

Polycount, 2015a. Vertex, glossary. [verkkosivu]. <<http://wiki.polycount.com/wiki/Vertex>> (luettu 15.4.2020).

Polycount, 2020b. Texture baking, glossary [verkkosivu]. <http://wiki.polycount.com/wiki/Texture_Baking> (luettu 15.4.2020).

Rouse, Margaret 2016. Definition 3D Mesh [verkkosivu]. WhatIs. <<https://whatis.techtarget.com/definition/3D-mesh>> (luettu 15.4.2020).

The University of British Columbia, 2008. History of Photogrammetry [verkkodokumentti]. <https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf> (luettu 10.4.2020).

Von Übel, Max 2020. Best Photogrammetry Software [verkkosivu]. <<https://all3dp.com/1/best-photogrammetry-software/>> (luettu 18.4.2020).

Webobedia, 2020. Term, texture [verkkosivu]. <<https://www.webopedia.com/TERM/T/texture.html>> (luettu 15.4.2020).

Weis Shachar, 2019. A Primer on 3D Scanning & Photogrammetry [verkkosivu]. <<https://packet39.com/blog/2019/01/18/a-primer-on-3d-scanning-objects-for-vr-using-photogrammetry/>> (luettu 20.4.2020).

Wikipedia, 2015a. Solmu (tietojenkäsittelytiede) [verkkosivu]. <[https://fi.wikipedia.org/wiki/Solmu_\(tietojenk%C3%A4sittelytiede\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Solmu_(tietojenk%C3%A4sittelytiede))> (luettu 15.4.2020).

Wikipedia, 2020b. John Walker (programmer) [verkkosivu]. <[https://en.wikipedia.org/wiki/John_Walker_\(programmer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Walker_(programmer))> (luettu 18.4.2020).

Xiangyu Shao, 2018a. Photogrammetry 01: A brief history – 1840 'til now [verkkosivu]. <<http://www.ar-eye.com/2018/11/05/photogrammetry-01-a-brief-history/>> (luettu 20.4.2020).

Xiangyu Shao, 2018b. Photogrammetry 01: A brief history – 1840 'til now [verkkosivu]. <<http://www.ar-eye.com/2018/11/05/photogrammetry-01-a-brief-history/>> (luettu 20.4.2020).

Kuvalähteet

Kuvio 1. Kolmiomittauksen periaate. Clemson University, 2020. Photogrammetry. <<https://www.clemson.edu/centers-institutes/conservation/equipment/photogrammetry.html>> (katsottu 15.4.2020).

Kuvio 3. Dagerrotypian työvaiheet. Wikipedia, 2020. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Daguerreotype>> (katsottu 15.4.2020).

Kuvio 4. Analyytinen stereokartoituskoje. Aalto Yliopisto, 2004. <<https://foto.aalto.fi/opus/300/luennot/9/9.html>> (katsottu 18.4.2020).

Kuvio 5. Autodesk ReCap 360 -ohjelmiston avulla taltioitu patsas. Nick Lievendag, 2018. <<https://3dscanexpert.com/autodesk-photogrammetry-review-recap-360/>> (18.4.2020).

Kuvio 6. Näyttelijän taltiointi fotogrammetrian avulla elokuvasta Ghost in the Shell. Capturingreality.com, 2020 <<https://www.capturingreality.com/RealityCapture-In-Ghost-In-The-Shell>> (luettu 22.4.2020).

Kuvio 7. Rakennusala hyödyntää droneja ilmafotogrammetriaan. ParaZero Marketing, 2017. <<https://parazero.com/2017/07/14/elementor-315/>> (luettu 22.4.2020).

Kuvio 8. Lähifotogrammetriaan soveltuva studio, joka hyödyntää useaa kameraa kuvamateriaalin taltioimiseen. ARTFABRIK, 2020 <<https://artfabrik.at/reality-capture.html>> (katsottu 15.4.2020).

Kuvio 9. Lähifotogrammetriaan avulla taltioitu kenkä. Pixel Light Effects, 2020. <<https://pixellighteffects.com/cross-polarized-prop-scanning/>> (katsottu 20.4.2020).

Kuvio 10. Esimerkki historiallisesti tärkeän kohteen taltioinnista dronekuvauksen avulla. A1 media, 2020. <<https://www.a1media.fi/osaamme/fotogrammetria>> (katsottu 18.4.2020).

Kuvio 12. Kohteen yksityiskohdat vaikuttavat lopullisen mallin onnistumiseen. Lachambre Sébastien, Lagarde Sébastien & Jover Cyril, 2017. <https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf> (katsottu 20.4.2020).

Kuvio 13. Tasainen valaistus on helppo saavuttaa pientä kohdetta kuvatessa. Mikaela Holmes, 2020. <<https://www.instructables.com/lesson/Shooting-for-Photogrammetry/>> (luettu 20.4.2020).

Kuvio 14. Kiiltävä kuvauskohde, joka on maalattu heijastamattomalla maalilla ja piirretty täyteen yksityiskohtia laskennan tehostamiseksi. Mikaela Holmes, 2020.
<<https://www.instructables.com/lesson/Shooting-for-Photogrammetry/>> (luettu 20.4.2020).