



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VALOKUVAMALLINNUS- OHJELMIEN VERTAILU

TE -

Eemeli Ahonen

KIJÄ:

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Eemeli Ahonen			
Työn nimi			
Valokuvamallinnusohjelmien vertailu			
Päiväys	2.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	47
Ohjaaja(t)			
Lehtori Viljo Kuusela ja yliopettaaja Janne Repo			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
VRT Finland Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää VRT Finland Oy:lle valokuvamallintamisen hyödyntämisen mahdollisuuksia heidän olemassa olevan tietomallijärjestelmän kehittämiseksi. VRT Finland Oy:tä kiinnosti korvata nykyinen laserkeilausjärjestelmä valokuvamallinnusjärjestelmällä laserkeilausaineiston suuren koon ja työläiden prosessien takia. Tavoitteena oli löytää ohjelma, jota olisi helppo sekä nopea käyttää ja jolla pystyisi tekemään laadukkaan mallin.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia valokuvamallinnusohjelmia ja vertailtiin ohjelmien keskinäisiä ominaisuuksia. Työssä selvitettiin miten valokuvaaminen tulisi tapahtua, jotta saataisiin aikaiseksi mahdollisimman laadukas malli. Tarkasteltiin kameralla kuvaamisen vaatimuksia sekä asetuksia pääpiirteittäin. Opinnäytetyössä tarkasteltiin lisäksi eri ohjelmia ja valittiin jatkotutkimuksiin muutama, jotta voitiin rajata nopeasti sopimattomat ja tutkia vain vaatimukset täyttäviä ohjelmia.</p> <p>Tuloksena VRT Finland Oy sai käsityksen valokuvamallintamisesta valokuvaamisen osalta, sekä lisäksi se sai vertailutiedon eri valokuvamallinnusohjelmien ominaisuuksista, käytettävyydestä ja mallien laadusta. Näitä tietoa käyttäen voidaan lähteä kehittämään toimintatapoja ja menetelmiä olemassa olevan laserkeilausjärjestelmän korvaamiseksi valokuvamallinnusjärjestelmällä. Lisäksi esitettiin käsitys kuinka paljon erilaisia kohteita tulisi kuvata ja millä tavalla, jotta malli olisi kattava.</p>			
Avainsanat			
Tietomalli, valokuvamallinnus, drone, mallintaminen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Eemeli Ahonen			
Title of Thesis Coparison of Photogrammetric Programs			
Date	December 2, 2018	Pages/Appendices	47
Supervisor(s) Mr Viljo Kuusela, Senior Lecturer and Mr Janne Repo, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners VRT Finland Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to study the possibilities of photogrammetric modelling for VRT Finland for the purpose of developing their existing systems of information models. VRT Finland was interested in replacing the current laser scanning system with a photogrammetric system due to the large size of laser scanning data and the laborious processes involved in the use of this data. The purpose of the study was to find a program that is user-friendly, fast and capable of producing a high-quality model.</p> <p>First, various different photogrammetric modelling programs were studied and their central characteristics were compared. In this project it was analysed how photography should be conducted in order to obtain the highest quality model possible. The main requirements for the camera and its settings were investigated. Only those programmes that met these criteria were selected for further evaluation.</p> <p>As a result, VRT Finland was provided with an understanding of the best photo shooting practices to be used in photogrammetric modelling, and received information about the characteristics, usability, and modelling quality of different photogrammetric programs. Using this information, new working practices and methods can be developed in order to replace the current laser scanning system with a photogrammetric system. In addition, a theory is presented on the number of photographs required to achieve a representative model, as well as how objects should be photographed.</p>			
<p>Keywords</p> <p>information model, photogrammetry, drone, modeling</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	SANASTO	7
3	FOTOGRAMMETRIA JA 3D-SKANNAUS	8
3.1	Perusteet	8
3.2	Historia	8
3.3	Käyttötarkoitukset	9
3.4	Kuvausmenetelmät	10
3.4.1	Kamera	10
3.4.2	Kuvaus	11
3.4.3	Ilmakuvaus	12
3.4.4	Maakuvaus	13
3.5	3D-skannaus	14
4	TIETOMALLI	15
4.1	Tietomallin historia	15
4.2	Käyttökohteet ja mahdollisuudet	15
4.3	Haasteet	16
5	VALOKUVAMALLINNUSOHJELMAT	17
5.1	Valokuvamallinnusohjelmia	17
5.1.1	Agisoft Photoscan	17
5.1.2	COLMAP	17
5.1.3	RealityCapture	18
5.1.4	Maxon Cinema 4D	18
5.1.5	CyberCity3D	19
5.1.6	Pix4D	19
5.1.7	3DFlow 3DF Zephyr	19
5.1.8	Autodesk ReMake	20
5.1.9	Autodesk 123D Catch	20
5.1.10	Autodesk ReCap	20
5.1.11	Photomodeler	20
5.2	Valokuvamallinnusohjelman vaatimukset	Error! Bookmark not defined.
5.3	Virtuaalimallin vaatimukset	21

6	OPINNÄYTETYÖSSÄ TUTKITUT OHJELMISTOT	22
6.1	Agisoft Photoscan	23
6.1.1	Työvaiheet.....	24
6.1.2	Export	25
6.2	Pix4D	25
6.2.1	Työvaiheet.....	26
6.2.2	Export	28
6.3	Photomodeler	28
6.3.1	Työvaiheet.....	28
6.3.2	Export	29
6.4	3DF Zephyr	30
6.4.1	Työvaiheet.....	30
6.4.2	Export	32
6.5	Ohjelmien keskenäinen vertailu	32
6.6	Valmiin valokuvamalli hyödyntäminen	33
7	POHDINTA	33
7.1	Jatkokysymykset.....	34
7.2	Itsearviointi	34
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	36
	LIITE 1: VALOKUVAMALLINNUSOHJELMIEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU	40

1 JOHDANTO

Nykypäivänä olemassa olevien rakennusten, siltojen ja muiden kohteiden mallintaminen tapahtuu siten, että ensin käydään paikan päällä laserskannaamassa kohde, jonka pohjalta voidaan lähteä rakentamaan virtuaalimallia. Laserkeilaimien kalibrointien ja pistepilvien suurten tiedostokoon takia työ vie paljon aikaa. Tälle toimintatavalle on tullut kilpailijaksi valokuvamallintaminen. Valokuvamallintamisessa kohteesta otetaan ympäriinsä valokuvia, joiden perusteella tietokoneohjelma osaa laskea ja muodostaa virtuaalimallin.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia VRT Finland Oy:lle vaihtoehtoisia menetelmiä laserskannaukselle valokuvamallintamisesta. VRT tuottaa korkealaatuisia vedenalaisia malleja ja he halusivat tietää, minkälaisia valokuvamallinnusohjelmia on saatavilla, mitkä niistä on heidän tarpeisiinsa sopivia ja kuinka itse valokuvaaminen tulisi tehdä, jotta saataisiin muodostettua laadukas virtuaalimalli. Valokuvamallintaminen laserskannauksen sijaan voisi tuoda etua nopeuden ja yksinkertaisten työvaiheiden vuoksi. Työ tehdään kokonaan salattuna, koska näin laajaa ja kattavaa vertailua sekä ohjetta valokuvamallinnusohjelmistoista ei ole julkisesti saatavissa.

Tutkimukseen valitaan tunnetuimpia valokuvamallinnusohjelmia, joiden ominaisuuksia ja tuloksia vertaillaan tutkimuksen edetessä. Tavoitteena on löytää VRT:lle vaatimukset täyttävät valokuvamallinnusohjelmat, kirjata ylös ohjelmien ominaisuuksia sekä karsia pois sellaisia ohjelmia, jotka eivät täytä VRT:n vaatimuksia.

2 SANASTO

Drone, UAV eli miehittämätön ilma-alus on etänä ohjattava lentokoneen tai helikopterin kaltainen laite.

Objektiivi on kamerassa oleva linssijärjestelmä, jonka avulla valo ohjataan kameran sensorille.

ISO-arvo kertoo kameran sensorin valonherkkyydestä. Suuri arvo tarkoittaa isompaa herkkyyttä, mikä auttaa kuvaamaan pimeässä, mutta se myös lisää kohinaa kuvaan. Kohina ilmenee rakeisuutena

GPU eli näytönohjain on tietokoneen lisäosa, joka piirtää grafiikkaa näytölle. Suuren laskentatehonsa ansiosta sitä voidaan käyttää myös laskennallisiin tarkoituksiin, kun mahdollista.

Kolmioverkkomalli on virtuaalimalli kohteesta, mikä on rakennettu käyttäen ainoastaan kolmioita.

Pistepilvi on virtuaalimalli, jolla tarkoitetaan tietokoneella luodussa virtuaalimaailmassa olevia koordinaattipisteitä. Näitä pisteitä voi olla jopa miljoonia, sekä niissä voi olla väriarvo. Suuren määrän ja väriarvon ansiosta kohde näyttää tarkastellessa hyvinkin realistiselta.

3 FOTOGRAMMETRIA JA 3D-SKANNAUS

Luvussa käsitellään fotogrammetrian eli valokuvamallintamisen perusteita, historiaa, käyttötarkoituksia sekä selitetään, miten valokuvamallintamista tehdään.

3.1 Perusteet

Fotogrammetriassa pyritään tuottamaan luotettavaa metrijärjestelmä tietoa vain kuvaamalla kohdetta (kuva 1). Monesti tuloksena on kartta, piirros, mitta tai 3D-malli jostain oikeasta esineestä tai paikasta.

Usein kohteesta pyritään saamaan mahdollisimman monta kuvaa monesta eri kulmista. Tämä mahdollistaa kuvien välisten pisteiden kolmiomittauksen ja siten se muodostaa keinotekoinen malli pinnan muodoista. (GIS Resources, 2014.)



Kuva 1 Pienen kohteen kuvaaminen fotogrammetriaa varten (Autodesk, 2018)

3.2 Historia

Aime Laussedat vuonna 1849 oli ensimmäinen, joka käytti hyväksi maastosta otettuja valokuvia tehdäksään topograafisen kartan. Hän oli myös ensimmäinen, joka yritti ottaa kuvia ilmapallosta vuonna 1858, mutta totesi olevan liian haastavaa ottaa tarpeeksi kuvia yhdestä ilmapisteestä. Pian huomattiin, että kuvaamalla saadut kartat olivat vertailukelpoisia maastosta mittaamalla saatuihin.

Kun lentokone oli keksitty ja stereokuvaaminen kehitetty, tehtiin ensimmäiset kartoittamiseen tarkoitettut lennot Bengasissa, josta Cesare Tardivo teki 1:4 000 mosaiikin. Hän esitteli tutkimustaan kansainväliselle fotogrammetrian seuralle vuonna 1913.

1800-luvun lopusta eteenpäin kameroiden kehitys eteni valtavasti. Alettiin kehittää parempia ja useampia linsskejä, ensin vaihdettavia filmejä ja sitten filmirullia, optiikkaa jotta saatiin suurempi kuvauskulma, linssien välinen suljin, joka paransi kuvien terävyyttä ja paljon muuta. (The Center for Photogrammetric Training.)

Eduard von Orel kehitti 1908 stereokartoituskojeen, jolla voitiin helposti suunnata kaksi kuvaa suhteessa toisiinsa ja siten suhteessa maahan. Tätä laitetta käytettiin 60- ja 70-luvulle asti, jolloin tietokoneet ottivat vallan tarkempina laitteina. (Washington State Department of Transportation, 2015.)

Digitaaliseen fotogrammetriaan alettiin siirtyä 1950-luvun lopulla, kun Gilbert Hobrought kehitti Raytheon-Wild B8 -laitteen. Sillä pystyttiin vertaamaan tietokoneella kuvan eri harmaan tasoja. Laitte oli kuitenkin vaikeakäyttöinen ja epävarma, eikä se saanut sen takia suosiota. Kun taas Uno Helavan keksintö vuonna 1957 oli valtava menestys. Se oli analyyttinen piirturi, joka oli servo-ohjattu ja näin sitä pystyttiin tietokoneavusteisesti liikuttamaan. Lisäksi pystyttiin digitaalisesti siirtämään koordinaatteja kuvan ja kartan välillä. (The Center for Photogrammetric Training.)

3.3 Käyttötarkoitukset

Fotogrammetriaa käytetään erittäin laajasti monessa mallinnusta ja kartoitusta vaativissa kohteissa. Lähes kaikki esineet ja asiat mitkä voidaan valokuvata, voidaan myös fotogrammetriaa hyväksikäyttäen mitata ja mallintaa. Näin ollen käyttökohteet vaihtelevat yksittäisistä esineistä ja rakennelmista ihmisiin ja alueisiin sekä tietenkin koko maapallon kattavaan avaruudesta käsin kuvattuun karttaan.

Elokuville nähtävä 3D-efekti voidaan tuottaa käyttämällä useaa kameraa näyttelijän ympärillä ja näin saada mallinnettua myös syvyysvaikutelma. Fotogrammetriaa voidaan käyttää myös kasvojen mallintamiseen tai kasvojen liikkeen seurantaan ja näin tietokoneella jälkikäsitellä ulkonäköä erilaiseksi. Kuitenkaan elokuvan kaltaisissa tapauksissa, jossa pitää tuottaa huomattava määrä erittäin suuren tarkkuuden malleja, jotka ovat todella monimutkaisen muotoisia, voi aiheuttaa ongelmia, ellei kuvia ole erittäin paljon ja niitä käydä tarkasti läpi. Tällaista elokuvaan tapahtuvaa fotogrammetriaa kutsutaan myös 4D-skannaukseksi (FLIR, 2017)

Pelimaailmassa on myös hyötyä käyttää fotogrammetriaa, kun halutaan tehdä esineitä ja asioita, joiden muoto on erittäin monimutkainen. Jos esine mallinnettisiin tavallisilla 3D-ohjelmilla, voisi työ viedä suunnattoman paljon aikaa ja lopputulos silti näyttää luonnottomalta. Tällöin fotogrammetriaa käyttäen säästetään aikaa ja saadaan luonnollisen näköinen esine. (Min Oh, 2015)

Rakentamisessa fotogrammetrian käyttöä kuvataan Ilkka Pieksän diplomityössä Fotogrammetrian ja kuvantunnistusohjelmiston hyödyntäminen rakenteiden vauriokartoituksessa mahdollisuutena hyödyntää korjausrakentamisen puolella korjausten suunnittelussa tai erilaisten korjausvaihtoehtojen esittämisen havainnollistamisessa. Diplomityössä mainitaan automaattinen ohjelma ACDT, jolla pystyttäisiin havaitsemaan valokuvissa esiintyvää rakenteiden halkeilua. Tutkimuksessa kuitenkin todettiin, että ACDT osoittautui liian hitaaksi ja vaikeakäyttöiseksi, mutta jatkokehitettynä helpottavan vauriokartoittamista. (Pieskä, 2017).

Kartoittamisessa käytetään suurimmaksi osaksi fotogrammetriaa sen nopeuden ja helppouden vuoksi. Esimerkiksi Google käyttää omassa Google Earth -ohjelmistossaan fotogrammetriaa muodostaakseen maapallosta kartan sekä taloista 3D-malleja.

Kaupunkimallintamisessa käytetään usein valokuvamallintamista ja jos kohdetta halutaan tarkastella tarkemmin, voidaan siihen lisätä vielä pistepilviaineisto tueksi. Helsingin kaupungista on vapaasti ladattavissa oleva kaupunkimalli, joka on luotu ottamalla noin 50 000 kuvaa kesällä 2015 ja johon lisättiin laserkeilausaineistoa. Tästä datasta luotiin kolmioverkkomalli, johon kuuluu noin 80 000 rakennusta. Kaupunkimallin avulla voidaan suunnitella uusia rakennuksia paremmin tarkastelemalla näköaloja, melusaasteen mitoituksessa ja varjostussuunnittelussa, mutta myös vaativampaan räjäytys/purkutyöhön, massojen mittauksiin ja liikennetutkimuksiin.

Valokuvamallintamisella pyrittävä tieto, jota koitetaan saada ovat geometrinen, fyysinen, semaattinen ja väliaikainen informaatio. (Maanmittauslaitos, 2017.)

3.4 Kuvausmenetelmät

Luvussa käsitellään asioita, jotka vaikuttavat fotogrammetrian kuvanlaatuun, sekä erilaisia tapoja ja menetelmiä kuvien ottamiseen.

3.4.1 Kamera

Kuvaamiseen käytettävä kamera vaikuttaa luonnollisesti myös tuotteen lopputulokseen. Kamerana voidaan käyttää tavallista kännykkäkameraa, WEB-kameraa, järjestelmäkameraa tai vaikka ilmasta käsin toimivaa dronea, jossa on integroitu tai erillinen kamera.

Kamerassa olisi hyvä olla mahdollisimman suuren resoluution kenno, eli sillä pitäisi pyrkiä saamaan mahdollisimman yksityiskohtaisia ja tarkkoja kuvia. Suositeltu kameran resoluutio on yli 8 Mpx (megapikseli). Tällä tekniikalla saadaan tallennettua kohde mahdollisimman tarkasti, mikä helpottaa työskentelyä ja lopputuloksen laatua.

Objektiivin tehtävänä on keskittää valo kameran kennolle. Objektiivin tulisi olla kiinteä, ei zoomattava, eli että linssin polttoväliä olisi vakio. Tämä vaikuttaa tietokoneella tehtyihin laskelmiin, koska kolmiolaskenta toimii vain polttovälin pysyessä samana kuvien välillä. Myös kaikki kuvaa muuten

muuttavat ja säätävät toiminnot, kuten digitaalinen zoomaus ja tärähdyksen vaimennus ominaisuus olisi syytä jättää pois päältä, sillä ne voivat vääristää polttoväliä ja näin vaikuttaa tuloksiin.

Muita kameraan tehtäviä säätöjä, jos niitä on mahdollista tehdä, olisi manuaalinen tarkennus, aukon koko ja sulkimen nopeuden lukitseminen vakioksi koko kuvaamisen ajaksi. Näin saadaan aikaan tasalaatuisempia kuvia, joiden ominaisuudet eivät eroaisi keskenään. (Photo modeler, 2017.)

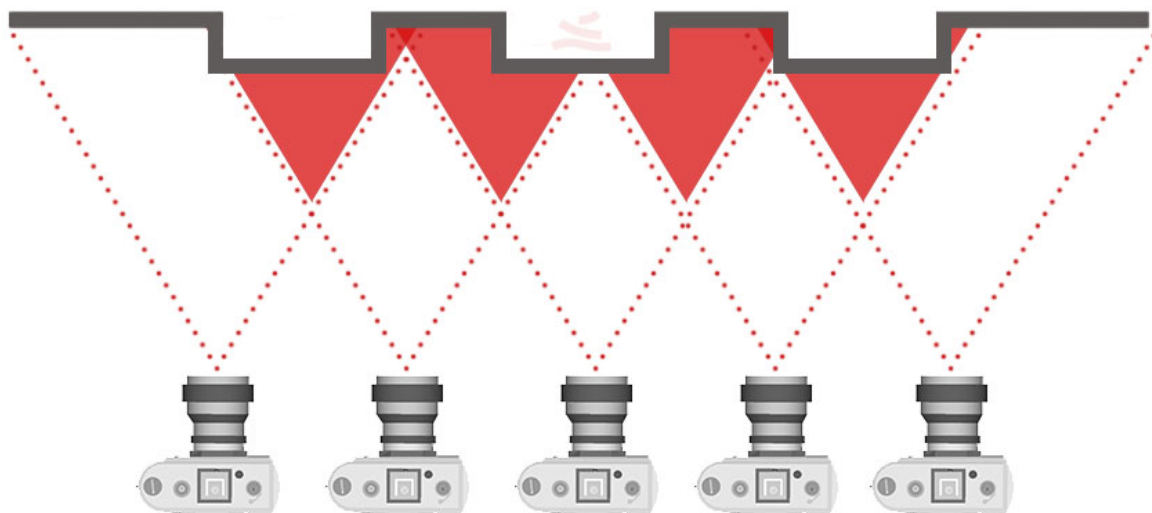
3.4.2 Kuvaus

Suurin tulokseen vaikuttava tekijä on itse kuvaustapahtuma. Kohteen muodosta riippuen sitä kuvataan joko kohteen pinnan mukaisesti, kuten seinää kuvattaisiin rakenteensuuntaisesti vaakatasossa (kuva 2). Jos kappale on pyöreä ja se pitää kuvata kauttaaltaan, kuvataan sitä kohteen ympäri pyörien (kuva 3). Mieluiten kuvaus tapahtuisi samalta korkotasolta, kuten tripodilta eli kameran jalustalta kuvattuna. Näin saadaan ohjelmat helpommin ymmärtämään halutun kohteen muotoa ja helpotetaan sekä parannetaan mallinnusta.

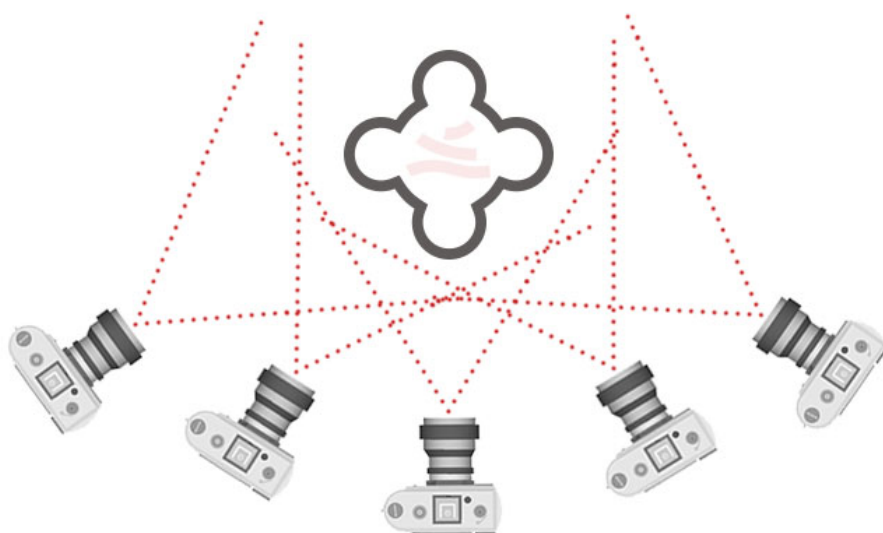
Tärkeää kuvauksessa on kuvata kohdetta vakaasti ja keskittää se keskelle kuvaa. Myös sääolosuhteet on otettava huomioon. Vesisade ja aurinko eivät saa vaikuttaa kuvaamiseen haitallisesti pisinä tai valona suoraan objektiivin, eikä myöskään terävinä varjostuksina kohteessa.

Jotta kuvista saataisiin teräviä, sekä tarpeeksi pitkä syväterävyysalue, on suotavaa käyttää mahdollisimman pieniä ISO-arvoja sekä suurta valotusaukon kokoa. ISO-arvolla tarkoitetaan kennon herkyyttä. Mitä isompi ISO-arvo on sitä herkemmin se reagoi valoon, mutta voi aiheuttaa kuvaan kohinaa, joka ilmenee kuvasta vääränä värinä ja kirkkauden vaihteluna. Kohinaa voidaan jälkikäteen poistaa kuvankäsittelyohjelmilla, mutta fotogrammetriaa tehtäessä kohteessa, jossa kuvien määrä voi olla valtava, tämä aiheuttaisi suunnattoman työvaiheen. Aukon koolla tarkoitetaan objektiivissa olevaa kennolle menevän valon rajoittavaa aukkoa, joka halutaan mahdollisimman suureksi siitä syystä, että sillä voidaan pidentää syväterävyysaluetta. (3DFLOW, 2018.)

Tärkeimpänä asiana fotogrammatiikassa on valokuvien limittyminen keskenään. Suositeltu limityssuhde olisi noin 70 - 80 %, jolloin kohteessa näkyvä yksittäinen piste olisi nähtävissä ainakin kolmesta vierekkäin otetusta valokuvasta. Tätä voidaan auttaa sillä, että kohteesta otettaisiin enemmän kuvia mikä helpottaa mallin muodostamista, tämä myös parantaa mallin laatua. (3DFLOW, 2018.)



Kuva 2 Tasaisen kohteen kuvaaminen (3DFlow)



Kuva 3 Kohteen kuvaaminen ympäri liikkuen (3DFlow)

3.4.3 Ilmakuvaus

Tässä työssä käsitellään ilmakuvauksen osalta ainoastaan miehittämättömiä drone ilma-aluksia. Työssä ei myöskään käsitellä säädöksiä tai rajoituksia. Suomessa lisätietoa säännöistä saa www.droneinfo.fi sivulta.

Ilmakuvauksessa tärkeäksi tekijäksi muodostuu laitteiden laatu ja ominaisuudet. Koska dronet ovat yleensä hyvinkin kevyitä, tarvitaan hyvä kuvanvakain, etteivät tuuli, nopeat liikkeet tai muut asiat pääse vaikuttamaan kuvaamiseen. Useassa dronessa on sisäänrakennettu vakain ja sitä kompensoidaan vielä lisää digitaalisella kuvanvakaimella. Digitaalisen kuvanvakaimen haittoina on kuvan rajaaaminen pienemmäksi ja mahdollisesti kuvan laadun huononeminen.

Laitteet joissa kamera on kiinteä, eikä näin vaihdettavissa, tulee tarkastella ennen laitteen käyttöä riittääkö kameran laatu haluttuun tarkkuuteen. Tällaisia ongelmia ei tule isommissa ja kalliimmissa

droneissa, joihin voidaan kiinnittää esimerkiksi järjestelmäkamera, jolloin kuvan laatuun päästään vaikuttamaan suoraan koskematta droneen. Kuvassa 4 on esitetty ammattilaisille suunnattu drone, jossa on erillinen järjestelmäkamera.



Kuva 4 Ammattilaisille suunnattu DJI Matrice 600 -drone (Dronethusiast, 2018)

Ilmakuvauksessa on huomioitava kohteen koko ja sijainti. Jos kohde on kovin suuri, menee sen kuvaamisen huomattavasti aikaa, mikä vaikuttaa varjojen siirtymiseen. Tätä varten tulisi valita kuvauspäivä siten, ettei ole liian kirkasta ja kuvata suunnitellusti ja harkitusti mahdollisimman nopeasti, jotteivät varjot ehdi liikkua paljoa ja näin pilata mahdollisesti kokonaan jatkokäsittelyä.

Kuvien määrä tulisi dronella kuvatessa olla mahdollisimman suuri. Jos kappale on patsaan muotoinen ja se halutaan kuvata ympäriinsä, tulisi kuvia ottaa noin 26 - 45 yhdeltä kierrokselta. Kierroksia tehdään asetuksista riippuen niin monta että patsaan kaltaisesta kohteesta olisi ainakin 100 kuvaa. Monimuotoiset kohteet voivat vaatia suurempia määriä kuvia. Jos kappale on paljon patsasta suurempi, voidaan kuvien määrää alustavasti laskea otettavan noin 8 - 14 asteen välein. (Fintan Corrigan, 2017.)

3.4.4 Maakuvaus

Kuvatessa tukevasti maalta, voidaan kuvaamiseen vaikuttaa enemmän. Kuvatessa pieniä kohteita voidaan valaistusta tehostaa asettamalla kameran taakse ja ympärille valonheittimiä, joilla myös vähennetään epämieluisien varjojen muodostumista. Tilanteen niin salliessa tulisi ehdottomasti käyttää kolmijalkaa tai muuta välinettä, jotta kamera saadaan tuettua hyvin tärähtämisen välttämiseksi.

Kuvaaminen tapahtuu hyvin samalla tavalla kuin ilmasta käsin. Kameraa kierretään kohteen ympäri noin 3 metrin etäisyydellä ja otetaan noin 26 - 45 kuvaan kierrokselta. Ilmakuvauksesta poiketen kohdetta voidaan päästä kuvaamaan myös paljon lähempää ja yksityiskohtaisemmin, jolloin myös

mallista saadaan luotua yksityiskohtaisempi ja kattavampi. Suositeltavaa olisi, että seuraavilla kieroksilla kuvien määrää nostettaisiin ja kameraa siirrettäisiin lähemmäksi ensin noin 1.5 metrin ja sitten 0.5 metrin päähän. Vieläkin yksityiskohtaisempia kuvia voidaan ottaa, vaikka jos kohteessa on jokin taso minkä alapuoli pitää saada mukaan. Tärkeää huomata kuvatessa että kuvien limityksen 70 - 80% vaatimus täyttyy.

3.5 3D-skannaus

3D-skannauksessa kohteen muoto pyritään mallintamaan käyttämällä erilaisia tekniikoita, jotta kohdetta voitaisiin tarkastella ja muokata tietokoneella. Kohde voi olla esine, tila, alue tai henkilö. Skannaustekniikoita on monia kuten: 3D Laserkeilaus, rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D skannaus, fotogrammetria sekä kosketukseen perustuva 3D skannaus. Joillain skannereilla voidaan samanaikaisesti kerätä dataa sekä muodosta että pinnan väristä. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi yleisimmät vaihtoehtoiset tavat fotogrammetrian lisäksi sekä niiden merkittäviä ominaisuuksia. (Aniwaa, 2018.)

Laserkeilauksessa laservalolla osoitetaan pintaa, josta se heijastuu takaisin, jolloin pinnasta muodostetaan pistepilvi. Tätä keinoa käyttäen saadaan nopeasti kerättyä jopa 750 000 pistettä sekunnissa jopa 0,001 cm:n tarkkuudella. Laserkeilausta käytetään yleensä silloin, kun kohde on suuri taikka siihen ei voi koskea. (Direct Dimensions, 2018; Laser Design, 2018.)

Rakenteelliseen valaisuun perustuvassa 3D skannauksessa pintaa osoitetaan valolla, joka koostuu samansuuntaisista viivoista, jonka heijastuksen pinnasta kamera kuvaa monesta eri kulmasta. Näin kolmiomittaamalla saadaan pinnasta tarkka malli hyvin nopeasti. Tekniikkaa käytetään, kun pinnasta halutaan hyvin yksityiskohtainen malli ja kun kohteeseen ei haluta koskea, tai jos pinta on kovin heijastava taikka diffraktion vuoksi. (Q-PLUS Labs 2018.)

Kosketukseen perustuvassa 3D skannauksessa anturilla kosketaan kevyesti kohdetta, jolloin robotti tietää tarkan pisteen. Tekniikalla pystytään mittaamaan erittäin monimuotoisia kappaleita erittäin tarkasti. Tapa on hidas ja vaatii kappaletta koskettavan anturin olevan aivan puhdas, muuten se vääristää tulosta. (Star Rapid, 2016.)

4 TIETOMALLI

BIM (Building Information Model) eli tietomalli, käsittää yhden tai usean kohteesta tehdyn virtuaalimallin. Mallin ajatuksena on olla tukena ja apuna koko kohteen elinajan sen rakentamisesta, ylläpidosta ja korjaamisesta purkamiseen asti.

4.1 Tietomallin historia

Rakennuksen tietomalli on ollut olemassa noin 70-luvulta asti. Nykyiseen muotoonsa se kehittyi kuitenkin vasta 2000-luvulla, kun BIM yleistettiin ja standardisoitiin käsittämään yleisesti sekava ala, jossa jokaisella ohjelmistokehittäjällä oli omat lyhenteet ja termistöt. Ensimmäinen ohjelma, jota pidetään tietomallinnuksena, on ArchiCAD vuodelta 1987, koska sitä pystyttiin käyttämään tavallisilla tietokoneilla suurten tarkoituksellisesti rakennettujen servereiden sijaan, mikä näin ollen laski valtavasti kynnystä kustannusten osalta (NATIONAL BIM STANDARD, 2014.)

4.2 Käyttökohteet ja mahdollisuudet

Tietomallia voidaan käyttää useilla rakennusaloilla kuten infra- ja talonrakennuksessa. Tavoitteena näillä aloilla on käyttää tietomallia tehokkaasti ja saada siitä irti olennainen tieto hankkeen, kunnossapidon ja suunnittelun eri vaiheissa.

Yleisesti tietomallista saadaan apua hankkeen alkuvaiheiden suunnittelussa, kun kohde nähdään 3-ulotteisesti ympäristöönsä nähden. Tällä tavalla pystytään varmistamaan kohteen oikea sijainti ja visuaalinen yhteensopivuus ympäristöön. Tuolloin voidaan tehdä alustavia tarkasteluja kohteen käyttötarkoituksista sekä niihin sopivuudesta.

Mallia eteenpäin viedessä siihen lisätään rakenteellista tietoa ja näin pystytään aloittamaan kohteen rakenteellinen mallintaminen sekä teknisten vaatimusten täytyminen. Kun malliin lisätään, vaikka talonrakennuksen yhteydessä LVI- sekä sähkösuunnitelmien mallit, pystytään tarkastelemaan käyttäjäkokemusta, rakenteiden törmäystarkasteluja ja yksityiskohtaisempia suunnitelmia tarkemmin yhtenäisessä mallissa. Tällaisesta mallissa, jossa jo kaikki materiaaliset tiedot on esitetty, voidaan helposti kustannuslaskijan toimesta ottaa ulos määrälaskelmat ja näin nopeuttaa kustannuslaskennan työtä.

Haastavimmissa tapauksissa tietomallista voidaan saada hyötyä projektisuunnittelussa. Jos rakennuskohde vaatii erityisiä toimenpiteitä jonkin rakenneosan kohdalta, pystytään tarkistamaan tietomallin avulla siihen liitettyä lisätietoa, mahdollisia ohjeita, yleisiä vaatimuksia sekä toteutusta. Näin helpotetaan työmaalla tehtävää työtä, kun kaikki tarvittava tieto on siististi ja yksinkertaisesti sijoitettu yhteen malliin, jota hankkeen kaikki osapuolet pääsevät käyttämään.

Sen lisäksi että kustannuslaskija saa tietomallista määrälaskelmat, voidaan tietomallin avulla myös suunnitella projektin aikataulua. Kun mallista ilmenee kaikki määrät, rakenteet sekä tarvikkeet, pystytään helpommin aikatauluttamaan hankkeen etenemistä. Tällä tavoin voidaan vähentää työmaalla varastoitavan, vasta paljon myöhemmin asennettavan, materiaalin määrää. Voidaan seurata, kuinka projekti pysyy aikataulussa ja pystytään yksinkertaisesti tarkastelemaan seuraavan vaihteen toteutusta ja vaatimuksia, sekä näin ennalta varautua mahdollisiin tarvikehankintoihin ja työvaiheiden suunnitteluun. Tällä tavalla työmaa pystyy paremmin seuraamaan projektin osien etenemistä, ja jos kohteessa käytetään aliurakointia, saadaan esitettyä urakkarajat selkeämmin ja paremmin tietomallin avulla. Pystytään myös välttämään myöhästymisiä, jotka johtuisivat tiedonkulun katkeamisesta tai väärinymmärryksistä urakkarajaan kuuluvista tehtävistä.

Rakennushankkeen lopussa tietomallia voidaan käyttää apuna luvutustarkastuksessa, varmistamassa tilauksen ja vaatimuksien täyttymisen. Tämän jälkeen malli luovutetaan tilaajalle käytettäväksi. Mallista ilmenee rakennuksen kunnossapito-, käyttö- ja ylläpitoohjeet. Jos rakennukseen haluttaisiin tehdä muutoksia, voitaisiin palata jo olemassa olevaan tietomalliin. Näin säästettäisiin aikaa ja vaivaa, eikä kohdetta tarvitsisi mallintaa uudelleen, vaan voitaisiin hyödyntää suunnittelussa jo olemassa olevaa mallia. (NATIONAL BIM STANDARD, 2014; Kiintopuu. 2018; Kolari, 2012.)

4.3 Haasteet

Rakennusprojekteissa haasteena tietomalleille tulee alan vakiintuneet menetelmät. Monet perustelevat tietomallia kalliina ratkaisuna, joka lupaa liikaa ja on liian vaikea käyttää. Näin luodaan negatiivinen pohja siirtymiselle vanhoista 2D kuvista 3D tietomalliin, eikä siten sitouduta tai haluta oppia uutta järjestelmää.

Tietomallin luominen verrattuna tavanomaisempiin 2D kuviin on hinnaltaan noin 1,5-kertainen, riippuen kohteesta. Kustannuskysymys on näin ollen merkittävä, jos tietomallia ei osata käyttää tehokkaasti tai sitä käytetään väärin tarkoituksiin. Tietomallista pitäisi osata tarkastella merkittäviä teki-
jöitä, kuten läpivientejä, rakenteita, materiaaleja ja niiden ominaisuuksia sekä vaatimuksia, eikä yksittäisten listojen naulojen määrää.

Osaaminen sekä tietomallin siirtely eri ohjelmien välillä on tunnettu puute. Usein henkilöt suhtautuvat varauksellisesti tietomalliin ylipäättään, eikä heillä ole ollut kiinnostusta opetella tai käydä koulutuksessa järjestelmien, toimintatapojen tai tekniikoiden kehittämiseksi. Tähän lisättynä tietomallien siirtely ohjelmien välillä on hankalaa ja usein aiheuttaa jonkinlaista tietojen katoamista tai muutosta. Vaikka tähän on kehitetty omia tiedostomuotoja, joilla siirtäminen pitäisi tapahtua helposti ja ilman minkäänlaisia hävikkejä tai ongelmia, ovat ne toistaiseksi ainakin eri ohjelmien välillä toimineet ristiriitaisesti. (Kiintopuu, 2018; Kolari, 2012.)

5 VALOKUVAMALLINNUSOHJELMAT

Tässä luvussa selvennetään ohjelmalta halutut vaatimukset, minkälaisen mallin ohjelman halutaan tekevän ja sen jälkeen vertaillaan itse ohjelmia ja niiden ominaisuuksia. Kunkin valitun ohjelman ominaisuudet ja sen tulokset kerrotaan myöhemmin yksitellen jokaisen ohjelman kohdalta siten, että ohjelma käydään kokonaisuudessaan läpi ennen siirtymistä seuraavaan.

5.1 Valokuvamallinnusohjelmia

Erilaisia ohjelmia löytyy markkinoilta kymmenittäin, mutta suurimmassa osassa niistä on jokin puute tai ominaisuus, ettei sen käytettävyys ole paras mahdollinen. Nyt tarkoituksena olisi näistä ohjelmista valita eniten käytetyt ja suosituimmat, sekä vertailla niitä keskenään, jotta saataisiin valittua käyttöön paras mahdollinen ohjelma VRT:n haluamaan käyttötarkoitukseen.

Käydään läpi seuraavaksi merkittävämpiä sekä käytetyimpiä valokuvamallinnusohjelmia ja kerrotaan niistä lyhyesti. Myöhemmin rajataan tarkasteltavaa aineistoa löytääksemme parhaan mahdollisen ohjelmiston ja käsiteltävän aineiston laajuuden kohtuullisena pitämiseksi.

5.1.1 Agisoft Photoscan

Agisoft on vuonna 2006 perustettu yritys, joka pyrkii tuottamaan ohjelmistoja alhaisen budjetin tutkimuksille ja kehitystyölle.

Agisoftin kehittämä *PhotoScan* on varta vasten fotogrammetriaan suunniteltu itsenäinen ohjelma, jossa ideana on tuottaa digitaalisista kuvista 3D-malleja. Ohjelma pystyy tuottamaan pintamalleja sekä pistepilviä. Laskentaa voidaan toteuttaa käyttäen hyväksi tehokkaita näytönohjaimia ja rinnakkaislaskentaa, näin 3D-mallien laskenta-aikoja ollaan saatu pienennettyä.

Tällä hetkellä *Agisoftilla* on kaksi tuotetta: *Professional* ja *Standard Edition*. *Standard Editionissa* on lähinnä vain valokuvista kolmiointilaskenta, pistepilvien luonti ja 3D-mallinnus. Jos tarvitaan enemmän ominaisuuksia, kuten massalaskentaa, referenssipisteiden kanssa tarkennusta sekä paljoo muuta, kannattaa ehdottomasti tutustua *Professional Editioniin*.

Professional Edition lisenssi maksaa noin 2 850 € ja *Standard Edition* noin 145 €. tällöin saa itsenäisen lisenssin, mutta myös muut koulutuskäyttöön ja kelluvat lisenssit ovat mahdollisia. (Agisoft, 2018.)

5.1.2 COLMAP

COLMAP on Johannes L. Schönbergerin kehittämä täysin ilmainen valokuviiin perustuva 3D-mallinnus. Schönberger kehittää ohjelmaa edelleen ja sen voi ladata GitHub.com -internetsivulta. Schönberger itse on opiskelemassa tietotekniikan tohtoriksi ja kertoo kiinnostukseensa juuri valokuviiin perustuvan 3D-mallinnuksen. Hän jakaa kehittämäänsä ohjelmistoaan ilmaiseksi sillä ajatuksella, että

jollain on sille käyttöä. *COLMAP* on lisensoitu GNU General Public License v3 mukaan, mikä tarkoittaa, että sitä saa kehittää ja jakaa ehtojen mukaisesti. (Demuc, 2018.)

COLMAP on menestynyt 3D-mallinnuksille tarkoitetuissa testeissä, olemalla Tanks and Temples -internetsivun testissä sijalla 3 sekä ETH3D:n testissä myös sijalla 3. (Tanks and Temples, 2018.) (ETH3D, 2018.)

5.1.3 RealityCapture

RealityCapture on *CapturingReality* -yhtiön kehittämä ohjelmisto missä luodaan 3D-malleja käyttäen hyväksi laserskannausta, valokuvia, lentäviä aluksia tai synkronoitua skannausmenetelmää. Pyrkimyksenä *CapturingReality* yhtiöllä on saada paras mahdollinen ohjelmisto jokaiseen tarpeeseen. Heidän kehittämänsä algoritmin pitäisi pystyä käsittelemään jopa 10 000 valokuvan mallinnus noin 800 € tietokoneella vain muutamassa tunnissa. Ohjelmisto tukee monen prosessorin sekä näytönohjaimien samanaikaista käyttöä. (CapturingReality, 2018.)

Ohjelmasta on olemassa monia eri versioita, joissa on eri määrä ominaisuuksia. Näistä ohjelmistoista poimintoina *CLI*-versio, mikä käsittää kaikki ominaisuudet täydessä laajuudessa, *Promo*-versio, joka tukee suurinta osaa ominaisuuksista, mutta mihin voidaan viedä maksimissaan 2 500 valokuvaa ja/tai laser skannausta. *PGM*-versio on vielä *Promo*-versiosta leikattu versio missä tuki laserskannausten prosessoinnille ja elinikäisille päivityksille on poistettu. (CapturingReality, 2018.)

RealityCapture tulee monessa muodossa ja sen hinnat vaihtelevat valtavasti kuukausimaksullisista lisensseistä kertamaksullisiin. *CLI*-versio maksaa noin 7 600 € / 12 kk, *Promo* versio on noin 80 € / 3 kk ja *PGM*-versio on noin 2 300 €. (CapturingReality, 2018.)

5.1.4 Maxon Cinema 4D

Maxon Cinema 4D on *MAXON Computer* -yhtiön kehittämä ohjelma, joka on tarkoitettu 3D artisteille. Ohjelmalla voidaan luoda näyttäviä 3D-grafiikoita ja animoida sekä luoda valokuvia. Siinä voidaan kehittyneillä työkaluilla muokata 3D-malleja ja luoda erillaisia objekteja. (Maxon, 2018.)

Maxon Cinema 4D myös pystyy luomaan videosta malleja, mutta se ei ole ohjelman pääkäyttötarkoitus, vaan sitä myydään työkaluna arkkitehtuuriin luomaan fotorealistisia näkymiä kohteesta. Nämä kohteet mallinnetaan yleensä perinteisin keinoin käsin, eikä valokuvaan tai videoon perustuvasti. (Maxon, 2018.)

Tuotteita *Cinema 4D* perheessä on useita *Cinema 4D* jaetaan *Studio*, *Visualize*, *Broadcast* ja *Prime* alakategorioihin, missä jokaisessa on kymmenkunta versiota ominaisuuksista, määrästä ja kuukausimaksusta riippuen. (Maxon, 2018.)

5.1.5 CyberCity3D

CyberCity3D on *CyberCity3D* -yhtiön valmistama ohjelma, jossa luodaan rakennuksia käyttäen hyväksi stereokuvaamista. Nimensä mukaisesti ohjelmalla voidaan luoda kaupunkeja valokuvien avulla.

CyberCity3D:n avulla voidaan kehittää kaupunkisuunnittelua aurinko, liikenne, tuulen ja tulvavesien suunnittelun osalta. Ohjelman katseluversio toimii selainpohjaisesti eikä vaadi näin omia asennettuja ohjelmia. *CyberCity3D* pystyy luomaan rakennuksia jopa 10 cm tarkkuudella, mutta se ei liitä mallinnettuihin kohteisiin tekstuuria. (CyberCity3D, 2018.)

5.1.6 Pix4D

Pix4D on valokuvamallinnus ohjelma, jolla voidaan tehdä tarkkoja 3D-malleja. Yhtiö pyrkii tuottamaan rakennustyömaille, maanviljelylle, kiinteistöille ja muille tarkastelulle tapahtuvan mallin. Ohjelma osaa tunnistaa rakennukset, tiet, kasvit ja muut kohteet. Sillä pystyy myös prosessoimaan kohteen pilvessä, millä voidaan merkittävästi nopeuttamaan laskentaa ja keventämään paikallisen tietokoneen käyttöä.

Ohjelmalla voidaan luoda monia erilaisia malleja, kuten pistepilveä, kolmioverkkomalli, tilavuusmalleja ja maastomalleja. Ohjelman eri versiot on suunniteltu eri tarpeisiin sopiviksi kuten *Pix4Dfields* on suunniteltu maatalouden tarpeisiin, kuten peltojen alueittamiseen, viljan seuraamiseen ja kaluston seuraamiseen pellolla. Muita ohjelman versioita ovat *mapper*, *bim*, *ag* ja *model*.

Suuremmat versiot maksavat noin 1300 – 3990 € *bim* version ollessa kallein. *Model*-version saa 499 €, koska ohjelmassa on lähinnä vain 3D-mallien luominen valokuvien perusteella. Ohjelmasta on olemassa myös ilmainen *Discovery*-versio, josta voidaan saada ulos vain laaturaportti ja 3D-videoanimaatio. Sillä ei myöskään pystytä tekemään läheskään kaikkia samoja toimintoja kuin maksullisilla versioilla. (Pix4D, 2018.)

5.1.7 3DFlow 3DF Zephyr

3DF Zephyr on *3Dflow* yrityksen tekemä ohjelma, joka perustuu täysin 3D-mallien luomiseen valokuvien avulla. Yritys pyrkii ohjelmistollaan korkean laadun malleihin yksinkertaisella ohjelmistolla, jonka työskentelyprosessi on täysin automaattinen. Suuren tarkkuuden lisäksi painoarvot ovat helppossa käyttöliittymässä, nopeudessa sekä tuesta yleisimmille 3D -tiedostomuodoille.

Eri versioita on olemassa 4 erilaista, joiden ominaisuudet alkavat ilmaisen version erittäin rajoitetuista ominaisuuksista *Aerial*-version kattavimpiin ominaisuuksiin. Versioiden välillä hinnassa ylöspäin mentäessä tärkeimpinä ominaisuuksina enimmäiskuvamäärä kasvaa ilmaisen version 50 kuvasta aina rajattomaan asti. Myös tuki monelle näytönohjaimelle tulee kalliimmissa versioissa. *Pro* ja *Aerial* versioissa voidaankin jo erittäin kehittyneitä työkaluja käyttäen päästä muokkaamaan mallia ja samalla saada tuki laserskannaukselle.

Neljästä eri versiosta perusversio on ilmainen ja siitä vähän kehittyneempi *Lite*-versio on 149 €. Eroa näillä on lähinnä tuki useammalle näytönohjaimelle ja enimmäisvalokuvien määrän nousu 50 kuvasta 500. *Pro* ja *Aerial*-versiot maksavat 2400 € ja 3900 €. (3Dflow, 2018.)

5.1.8 Autodesk ReMake

ReMake on *Autodeskin* valokuvamallinnusohjelma. Ohjelmasta oli ilmaisversio, jolla pystyttiin tekemään malleja enintään 50 kuvan avulla, ja jolla pystyttiin mallintamaan vain normaalitasolla. Maksullisella *Pro* versiolla voitiin käyttää pilvilaskentaa tukena mallintamisessa. *Autodesk* lakkautti tuen 1.12.2017. (3Dscanexpert, 2018.)

5.1.9 Autodek 123D Catch

123D Catch ohjelman ideana oli olla aloitustason ohjelma, joka tuki oli enintään 70 kuvaa. Sillä pystyttiin tekemään nopeasti ja helposti malleja, koska sen pääasiallinen alusta oli puhelimella tai tabletilla. Ohjelmasta puuttui täysin mahdollisuus muokata malleja. *Autodesk* lakkautti tuen 1/2017. (3Dscanexpert, 2016.)

5.1.10 Autodesk ReCap

ReCap on *Autodeskin* tämänhetkinen ainoa itsenäinen ohjelma, joka tuottaa 3D-malleja valokuvien avulla. Ohjelma on saatavana myös puhelimelle. Tarkoituksena *Autodeskillä* on tuottaa ohjelman avulla mahdollisimman paljon, ja ominaisuuksia löytyykin siis moneen eri tarkoitukseen. Ohjelmassa pystytään esimerkiksi vertailemaan suunnitellun ja toteutuneen muodon eroja, vertailemaan laser-skannauksesta saatua dataa valokuvamalliin sekä tekemään videoita mallista. (Autodesk, 2018.)

ReCapista on kaksi versiota, tavallinen ja *Pro*. Versiot eroavat toisistaan siten, että *Pro* versiossa työkalut ovat kehittyneempiä ja siinä on automatisoitu paljon, kuten mallin putsaus ja mahdollisuus luoda mallista pintamalli on parennettu. *Pro* versiosta on olemassa mobiiliversio ja siinä pystytään tarkastelemaan ja mittaamaan malleja. Muutenkin mallien mittaaminen ja tarkkuuden tarkastelu on lähinnä ominaisuutena vain *Pro* versiossa. *ReCap*:in tavallinen versio ei maksa mitään, mutta sen ominaisuuksia on rajattu erittäin paljon. *Pro* versio maksaa noin 250 €/vuosi. (Autodesk, 2018.)

5.1.11 Photomodeler

Photomodeler on *Eos Systems oy*:n valmistama valokuvamallinnusohjelma. Sen pääasiallinen tarkoitus on luoda tarkkoja 3D-malleja, joita voidaan mitata, tarkastella ja ottaa kaappauksia.

Ohjelmasta on olemassa kolme eri versiota haluttujen ominaisuuksien mukaan. *Standard*-versioista löytyy kaikki perusominaisuudet ja sillä pitäisi päästä alkuun valokuvamallintamisessa. *Scanner*-versioissa lisäominaisuuksina on tiheän pinnan luominen sekä muutamia älykkäitä orientaatio- ja sovitelutyökalua. *UAS*-versiossa tuodaan vielä lisäksi koordinaatti, tilavuus ja muut droneihin liittyvät ominaisuudet edellisten versioiden ominaisuuksien lisäksi.

Standard -versio maksaa noin 815 €, *Scanner* 2450 € ja *UAS* noin 3270 €. (Photomodeler, 2018.)

5.2 Virtuaalimallin vaatimukset

Mallin tulisi sisältää väriaineiston, jota ei löydy laserkeilatusta aineisto. Sitä tulisi olla mahdollista käyttää tavallisilla kuluttajakoneilla, eli sen koko ei saisi olla valtava. Malli voisi olla erittäin raaka kuutiomainen malli, jossa pieniä kulmia ja yksityiskohtia ei olisi mallinnettu lainkaan, vaan että ne voitaisiin havaita mallin väreistä.

Mittatarkkuudeltaan mallin tulisi kuitenkin olla sellainen, että siitä voitaisiin tarkasti osoittaa, vaikka osarakenteiden kokoa määrälaskentaa, kustannuslaskentaa ja korjaussuunnitelmia tuotettaessa. Vaikka osa markkinoilla olevista ohjelmista osaa tuottaa valokuvien avulla värillistä pistepilveä, tässä tapauksessa halutaan yhtenäistä pintamallia, joten pistepilveä ei käydä läpi samassa laajuudessa.

6 OPINNÄYTETYÖSSÄ TUTKITUT OHJELMISTOT

Karsittiin edellä mainituista ohjelmista neljä ohjelmaa tarkempaa tarkastelua ja vertailua varten. Jatkokutkimuksiin valittiin sellaisia ohjelmia, jotka vaikuttivat ominaisuuksiltaan riittävältä ja joilta voitiin olettaa tulevan korkeanlaatuista tulosta. Myös tekninen tuki sekä saatavuus ovat merkittäviä tekijöitä halutaanko ohjelmistoa tarkastella lähemmin. Valokuvamallinnusohjelmien ominaisuuksia on listattu taulukossa 1.

Taulukko 1 Valokuvamallinnusohjelmien ominaisuuksia (Ahonen, 2018.)

	Riittävät ominaisuudet	Korkea laatu	Tekninen tuki	Saatavilla	Muuta huom.
Agisoft Photoscan	x	x	x	x	Valittiin jatkokoon
COLMAP	x		x	x	Hankala käyttöliittymä, sekä Huono tuki kolmioverkkomallille
RealityCapture	x	x	x	x	Erittäin lupaava ohjelma, johon ei ehditty saada demo-lisenssiä.
Maxon Cinema 4D	x	x	x	x	Ei pääasiallinen käyttötarkoitus. Suunnattu enemmän mallinnukseen
CyberCity3D			x	x	Tarkoitettu suuriin kaupunkeihin Huono tarkkuus ja ominaisuudet
Pix4D	x	x	x	x	Valittiin jatkokoon
3DFlow 3DF Zephyr	x	x	x	x	Valittiin jatkokoon
Autodesk ReMake	x	x			Ei saatavilla
Autodesk 123D Catch	x	x			Ei saatavilla
Autodesk ReCap		x	x	x	Erittäin rajatut ominaisuudet
Photomodeler	x	x	x	x	Valittiin jatkokoon

Testimateriaalina työssä käytettiin dronella otettuja kuvia vesitornista. Kuvia on yhteensä 162, mikä on tämän kokoiselle rakennukselle aika vähän, mutta yksinkertaisesta muodostaan ja mallinnuksen rajoittaminen vain torniin, kuvien määrä on sopiva. Kuvissa on mukana myös muutamia epäonnistuneita otoksia, mitkä ladattiin muiden kuvien kanssa työhön, jotta pystyttiin tarkastelemaan, miten ohjelma käyttää kuvia, jotka ovat irrallisia muusta työstä ja muuten epäselviä sekä käyttökelvottomia. Koska tutkimusta ja ohjelmistoa tehtiin käyttäen montaa eri konetta, ei tarkkoja aikoja mallinnuksen kestosta ole. Käytettyä aikaa kyllä sanallisesti käydään läpi ohjelmien vertailussa.

Ohjelmia käytetään niin sanotusti oletusarvoilla, jotta saatiin tietokoneiden laskenta-aikaa rajoitettua. Joitakin ohjelmia tarkasteltiin myös erittäin tarkkoilla/vaativilla asetuksilla, jotta nähtäisiin minkälaisen mallin ohjelmalla pystyy tuottamaan parhaimmillaan. Ensiksi työssä kerrotaan jokaisen ohjelman työskentelyvaiheet läpi, jonka jälkeen ohjelmia, niiden ominaisuuksia sekä tuloksia vertaillaan keskenään.

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli löytää ohjelmisto, jolta halutaan helppokäyttöisyyttä ja nopeutta. Sen pitää pystyä tuottamaan valokuvamalli tehokkaasti, joskus hyvinkin niukasta valokuvamateriaalista, eikä ohjelman käyttö saisi olla liian hankalaa. Yksinkertainen käyttöliittymä ja yksinkertaiset vaiheet työskentelyssä toisivat ohjelmiston selkeämmäksi ja ymmärrettävämmäksi niille, jotka sen kanssa työskentelevät.

Ohjelman pitäisi ymmärtää käyttää hyväkseen tavallisiin valokuvaformaatteihin lisättyä tietoa. Näitä tietoja ovat esimerkiksi paikkatieto, objektiivin sekä kameran asetustiedot ja mahdolliset valaistustiedot. Tässä työssä ei kuitenkaan tarkemmin tarkastella näitä ominaisuuksia.

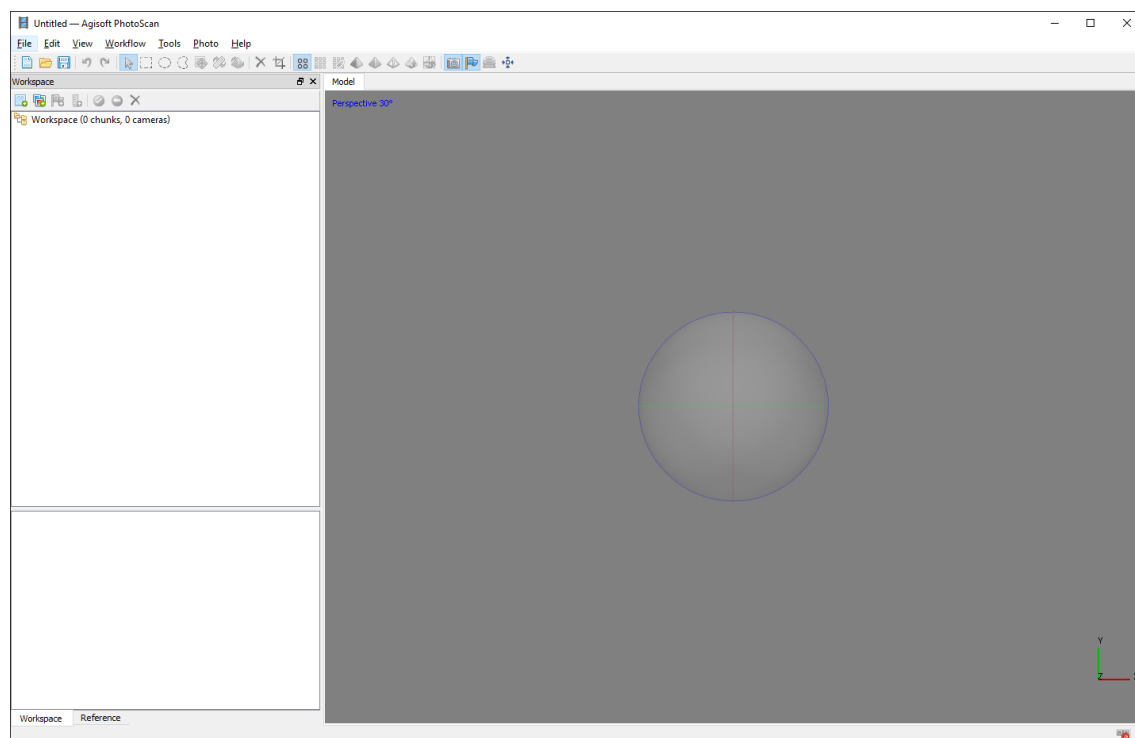
Valmiin valokuvamallin pitäisi pystyä viemään ohjelmasta tietomalliohjelmaan, jossain jo tunnetussa ja yleisesti käytössä olevassa tiedostomuodossa. Tämä mahdollistaisi asioiden yksinkertaistamisen ja monen muun ohjelmiston yhteensopivuuden varmistamisen.

VRT:llä tiedetään valokuvamallien tekemisen olevan tietokoneelta raskas ja suuri tehtävä, joten etsitään ohjelmaa, joka pystyisi tuottamaan mallin niukemmilla resursseilla. Tämä toisi laajemman mahdollisuuden käyttää ohjelmaa, kun uusia laitehankintoja ei tarvitsisi tehdä valokuvamallintamiseen siirtymiseksi.

Ohjelman toivotaan olevan vertailukelpoinen yleiseen hintatasoon nähden. Jos ohjelmistoilla olisi joitain muitakin käyttötarkoituksia kuin valokuvamallintaminen, niiden tuomaa hyötyä ja ominaisuuksia voidaan arvioida erillisenä kokonaisuutena. Tässä työssä keskityttiin vain valokuvamallintamisen ominaisuuksiin.

6.1 Agisoft Photoscan

Tässä työssä käytettiin *Agisoftin Photoscan Professional 1.4.1 x64 windows* -versiota demo tilassa. Photoscan on erittäin tyylikkäs ohjelma, joka ei hirveästi auta käyttäjäänsä ohjailemalla tai neuvomalla seuraaviin vaiheisiin. Kuitenkin työvaiheet ovat yksinkertaiset ja jäsennelty hyvin.



Kuva 5 Agisoft Photoscan -ohjelman käyttöliittymä (FStoppers, 2018)

Valikkopalkkiin on selkeästi rakennettu omiin osioihin (kuva 5), sekä pudotusvalikot on saatu pidettyä siistinä, hyvin järjesteltyinä eikä liian valtavina. Työkaluja löytyy tarkempaankin työskentelyyn, joskin isoissa kohteissa yksittäisten kuvien muokkaaminen voi olla turhan työlästä.

6.1.1 Työvaiheet

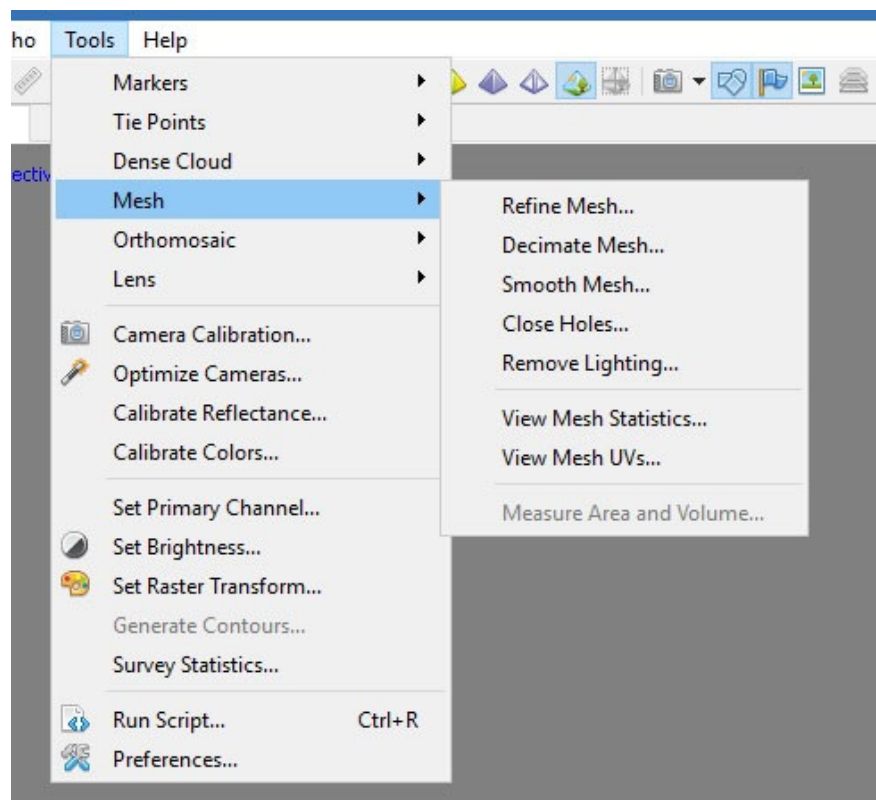
Ensimmäisenä ohjelma aukeaa suoraan tyhjään projektiin, eikä pyydä käyttäjää suorittamaan minikäänlaisia toimintoja. Kuvien lisääminen projektiin tapahtuu joko *Workspace* -ikkunan hyvin pienen *Add Photos* -painikkeen kautta, tai *Workflow* -pudotuspalkista. Kummastakin aukeaa ikkuna tiedostopuuun, josta valitaan sitten yksittäiset kuvat tai kansiot mitä halutaan projektiin tuoda.

Kun kuvat ovat tuotu projektiin, pitää ne linjata toisiinsa nähden *Align Photos* -työkalulla. Tämä löytyykin heti seuraavana kenttänä *Workflow* -pudotuspalkista. Linjauksessa menee tämänkokoisessa projektissa noin 10 minuuttia ja sen ajatuksena on, että ohjelma alkaa hahmottamaan mitä kuvissa esiintyy sekä luoda referenssi pisteitä kuvien välille. Tämä vaihe toimii vain tietokoneen suorittimella, jonka suorituskyvyllä on suora vaikutus laskennan keston. Koko laskennan ajan näkyy pieni ikkuna, jossa on esitetty edistymisen muutamalla palkilla, prosentuaalisesti sekä arvioitu kuinka kauan laskenta vielä kestää. Arvioitu kesto ei osoittautunut kovinkaan luotettavaksi, siksi että vain näytti ajan laskennan kunkin vaiheen loppumiseen eikä koko laskennan loppumiseen. Lisätietona oli mahdollista avata *Details* -lisäkenttä, jossa ohjelma kertoi mitä on laskenut, kuinka paljon ja miten kauan siinä on kestänyt.

Tuloksena tästä saadaan pistepilven kaltainen malli, josta kohteen voi nähdä karkeasti. Tässä vaiheessa on hyvä rajata työtä hajapisteiden varalta. Työkalupalkista löytyvällä *Resize region* -työkalulla asetellaan laatikon sisään haluttu kohde.

Seuraavaksi voidaan valita, halutaanko tehdä pistepilvi vai kolmioverkkomalli, nyt tarkastelemme kolmioverkkomallin eli mesh:in tekoa. Taas *Workflow* -pudotuspalkista valitaan seuraavana oleva *Build Mesh*. Tämä vaihe kestää vain sekunteja ja tuloksen saa näkymään valitsemalla työkalupalkista jonkun pyramidin, jotka esittävät mallia. Kun halutaan tekstuuri malliin pitää taas *Workflow* -pudotuspalkista ottaa *Build texture* -työkalu. Tässä menee muutamia minuutteja ja lopputulos pitäisi aika tarkasti näyttää halutulta kohteelta.

Jos haluaa, tarjoaa *Photoscan* käyttöön myös työkaluja, jolla mallia voidaan siistiä, paikata ja muuten muokata. Tässä ohjelmassa, voidaan nähdä miten vesitornin katolla oleva antenni mallintui erittäin huonosti, sekä ympärillä oleva metsä aiheutti muutamia lentäviä epämääräisiä kohteita. Kun ei haluttuja kohteita poistettiin, yksinkertaisella valinta -työkalulla, saatiin mallista jo paljon parempi. Ohjelman tarjoaa muutamia työkaluja kolmioverkkomallin muokkaamiseen (kuva 6). Siltikään vesitornista ei saatu pieniä vääristymiä pois, vaikka yritettiin käyttää *Smooth Mesh* -työkalua. Se aiheutti lähinnä kulmien pyöristymistä enemmän.



Kuva 6 Photoscan -ohjelman mallin muokkaamiseen tarkoitetut työkalut (Ahonen 2018)

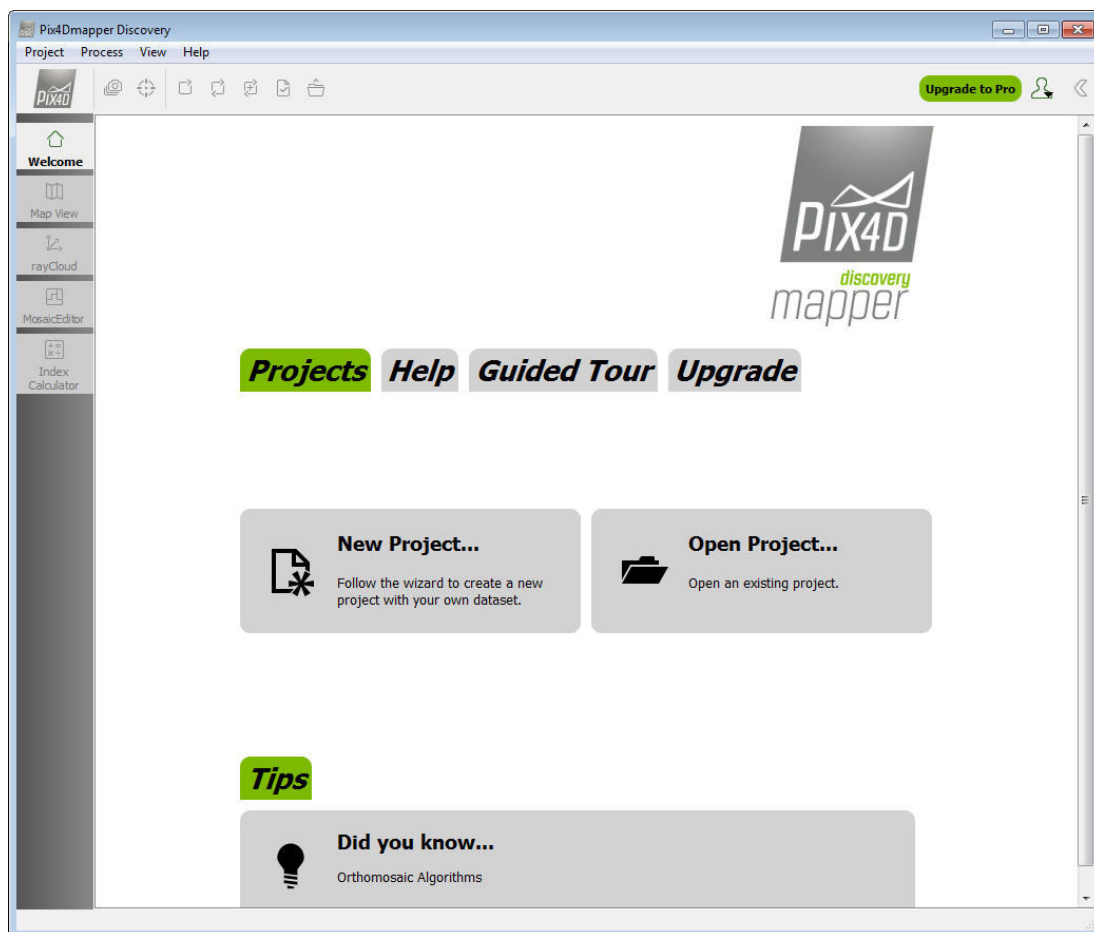
6.1.2 Export

Photoscanin vienti mahdollisuudet ovat kattavat. Muutamina poimintoina se voidaan viedä esimerkiksi: .obj objekti tiedostona, .3ds autodeskin mallina, .ply polygoni tiedostona, .pdf 3D siirrettävänä dokumenttina sekä monia muita. Käytössä olleesta *demo* -versiosta kuitenkaan ei saatu oikeasti ulos näytönkaappausten lisäksi mitään, koska ohjelman tallennus ja vienti ominaisuudet olivat lukittuja.

6.2 Pix4D

Työssä käytettiin *Pix4Dmapper Pro – trial 4.2.25* -versiota.

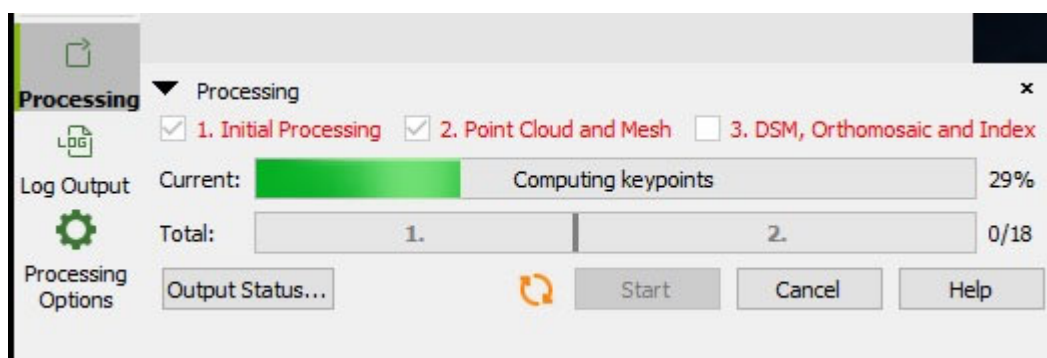
Mapper on hivenen nykyaikaisemmalla käyttöliittymällä varustettu ohjelma, jossa työkaluja, valikkoja sekä näppäimiä on aika vähän. Käyttöliittymän painikkeiden määrä vähäinen (kuva 7).



Kuva 7 Pix4Dmapper -ohjelman käyttöliittymä (Pix4D, 2018)

6.2.1 Työvaiheet

Ohjelma alkaa valitsemalla joko uusi projekti tai avaamalla jo olemassa oleva. Tämän jälkeen avustusohjelma auttaa menemään vaihe vaiheelta eteenpäin, ensin nimeämään projektin, lisäämään valokuvat, asetuksiin valokuvista ja koordinaattijärjestelmistä sekä lopuksi valitsemaan minkälaisen 3D-malli haluttaisiin tehtävän. Kun merkkää *Start Processing Now* -ruudun, aloittaa ohjelma välittömästi laskemaan ja tuottamaan mallia.



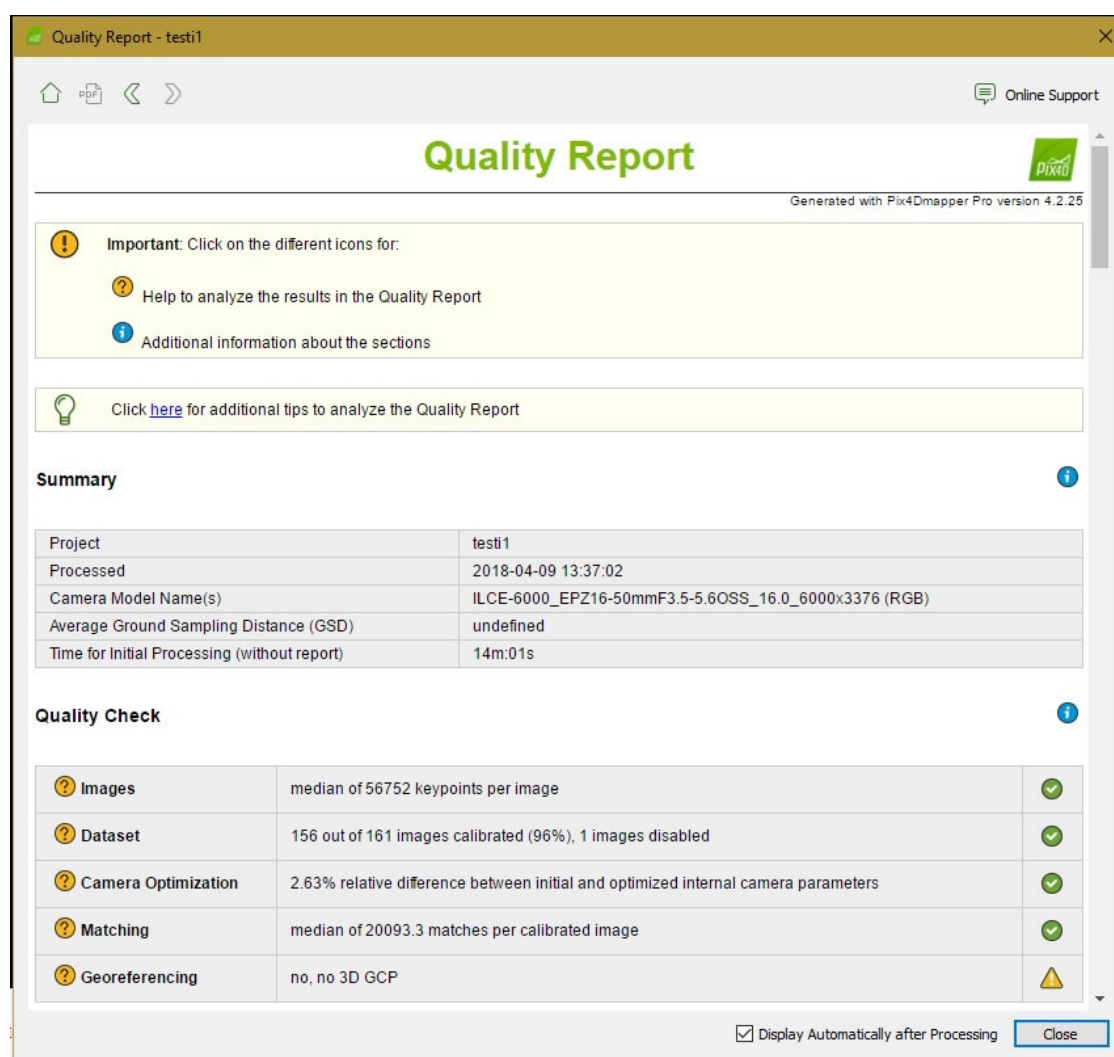
Kuva 8 Pix4D -ohjelman laskennan edistymisen kuvaustapa (Ahonen 2018)

Laskenta näkyy ohjelman vasemmassa alareunassa ja sitä on hahmoteltu palkein osa-alueen sekä kokonaisen etenemisestä (kuva 8). Missään ei kuitenkaan ole kelloa, joka arvioisi kuinka kauan laskennassa kestää. Myös tauko painikkeen puuttuminen aiheutti ihmetystä, koska koko pitkä laskenta piti

suorittaa kerralla, tai peruuttaa kokonaan. Pääosa laskennasta tehtiin suorittimella, eikä näytönohjaimen laskentakykyä käytetty läheskään kokolaajuudessaan.

Puolessa välissä laskentaa ohjelma antaa välitietona laaturaportin (kuva 9). Siinä se käy läpi minkälaista tietoa kuvista on löytynyt, kuten referenssipisteitä, kameran asetuksia ja muita ominaisuuksia. Tässä vaiheessa ohjelma on siirtynyt luomaan sekä pistepilveä että kolmioverkkomallia, sekä esittää harva referenssipisteistä luotu malli.

Oletusasetuksilla ja tämän kokoisella testikokonaisuudella laskenta vei aikaa noin puolitoista tuntia. Työn lopuksi ohjelma avaa ikkunan, jossa se aiemman raportin lisäksi esittää nyt tehdyn 3D datan laatua ja ominaisuuksia.



Kuva 9 Pix4D -ohjelman antama laaturaportti (Ahonen 2018)

Kun valitaan *Layers*-ikkunasta *Triangle Meshes* ja ladataan tehty malli työhön, voidaan nähdä, min-käläisen kolmioverkkomallin ohjelma on luonut. Ohjelma luo myös samaan aikaan pistepilven, eikä sitä tarvitse luoda erikseen. Valitettavasti malliin muodostui pilven kaltaisia epämuodostumia vesitor-nin huipulle, luultavasti lumen vuoksi vääristyneenä ja muutamia pienempiä alapuolelle, muuten malli on erittäin korkealaatuinen. Ohjelmassa ei ole työkaluja muokata mallia, vaan sen muokkaami-nen täytyy tehdä täysin jossain muussa ohjelmassa.

6.2.2 Export

Kolmiverkkomallin vieminen ohjelmasta on piilotettu omituisesti, eikä sen löytäminen ole kovinkaan luontevaa. Mallin viemiseksi pitää löytää tehty kolmioverkkomalli *Layers*-ikkunasta ja painaa hiiren kakkosnäppäimellä, jolloin avautuu pieni valikko, jossa on *export mesh*-työkalu. Tästä aukeaa uusi ikkuna, jossa valitaan tiedosto formaatti, tiedoston nimi ja sijainti.

Ohjelmassa on kuitenkin kiitettävästi viisi eri tiedosto formaattia, jotka kaikki ovat laajasti käytettyjä kuten. ply, .obj ja .pdf. Huomattavaa on, että ohjelma pystyy tallentamaan monessa tiedostomuodossa kerralla, jos tiedostomuodot ovat rastitettuina.

6.3 Photomodeler

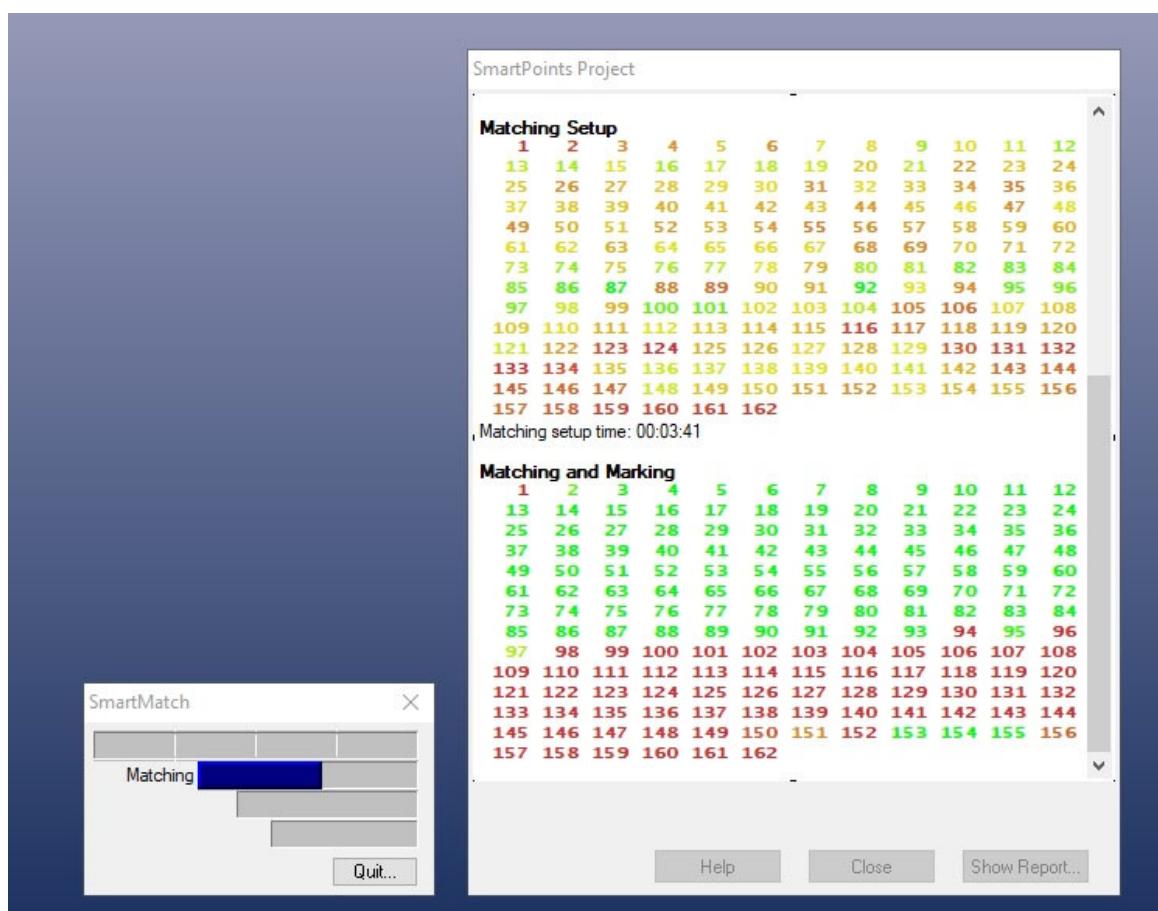
Työssä käytettiin *Photomodeler 2018.0.1.2245 64-bit demo*-versiota.

Photomodeler on vähemmän tyylitellyn näköinen ohjelma. Ensimmäisenä käyttäjä kohtaa työkalurivin, johon on laitettu valtavasti erikoisia työkaluja, sekä työkalupalkin mistä aukeavat pudotuspalkit, jotka ovat suuria mutta hyvin jäsenneltyjä.

6.3.1 Työvaiheet

Työ alkaa käynnistäessä *Getting started*-ikkunasta, jossa ohjelma kysyy mitä käyttäjä haluaa tehdä. Tämän jälkeen avustusohjelma kysyy yksinkertaisia asetuksia sekä pyytää valitsemaan valokuvat. Valokuvat voidaan tuoda joko yksittäisinä kappaleina tai kokonaisena kansiona. Valokuvien tuomisen jälkeen avustusohjelma haluaa tietää, lasketaanko kohteelle sijaintia, onko kamera kalibroitu vai kalibroidaanko kuvat automaattisesti ja mikä on kameran sensori. Kun asetukset on laitettu, rupeaa ohjelma automaattisesti välittömästi laskemaan referenssipisteitä.

Laskennan aikana edistyminen näkyy sekä palkkeina osaedistymisinä, sekä suuremmassa ikkunassa jokainen kuva numeroituna (kuva 10). Numeroidut kuvat vaihtavat väriä punaisesta vihreään ja vaiheesta riippuen tämä kertoo edistymistä, kuvan laatua tai referenssipisteiden osumisesta muiden kuvien kanssa. Kummassakaan ikkunassa ei näy jäljellä olevan ajan laskuria, eikä laskentaa voi pistää tauolle vaan se pitäisi lopettaa kokonaan. Välillä edistymisen tuntuessa kovin hitaalle, voi vaikuttaa ohjelman pysähtyneen tai muuten lakanneen toimimasta, mutta onneksi pienempään ikkunaan on laitettu tutkan kaltainen animaatio, joka pyörii. Tästä näkee nopeasti, toimiiko ohjelma vielä normaalisti. Laskennan aikana *Photomodeler* varaa itselleen lähes kaiken vapaana olevan keskusmuistin, mikä tämän kokoisessa projektissa ei vielä ole ongelma, mutta suurempia kohteita mallintaessa keskusmuistin määrän vaatimustaso voi nousta todella korkealle.



Kuva 10 Photomodeler -ohjelman tapa esittää edistymistä kuvakohtaisesti sekä kokonaispalkein (Ahonen 2018)

Ohjelma toimi erittäin nopeasti ja vain noin 15 minuutissa se tuotti kolmioverkkomallin. Valitettavasti malli on laadultaan täysin käyttökelvoton, sillä siitä on vaikea saada selvää edes mitä kohteena on kuvattu.

Kehittyneemmillä työkaluilla tehtynä mallista saadaan vähän parempi, mutta se on silti aivan täynnä hajapisteitä. Aikaa tämänlaatuiseen tulokseen menee noin tunti ja siihen päälle vielä aika jonka mallin siivoaminen ja muokkaaminen käyttökelpoiseksi vaatisi.

Saatujen huonojen tulosten vuoksi *Photomodeleria* ei nähdä vertailussa, koska ohjelma ei pysty luomaan millään tasolla käyttökelpoista mallia annetuilla resursseilla. Ajatuksena oli, että ohjelma olisi yksinkertainen ja se loisi laadukkaan mallin tehokkaasti, eivät täyty *Photomodelerin* osalta.

6.3.2 Export

Lukitussa demo -versiossa ei mallia voida viedä pois ohjelmasta ja näin joudutaan luottamaan *Photomodelerin* omiin nettisivuihin tuetuista tiedostomuodoista.

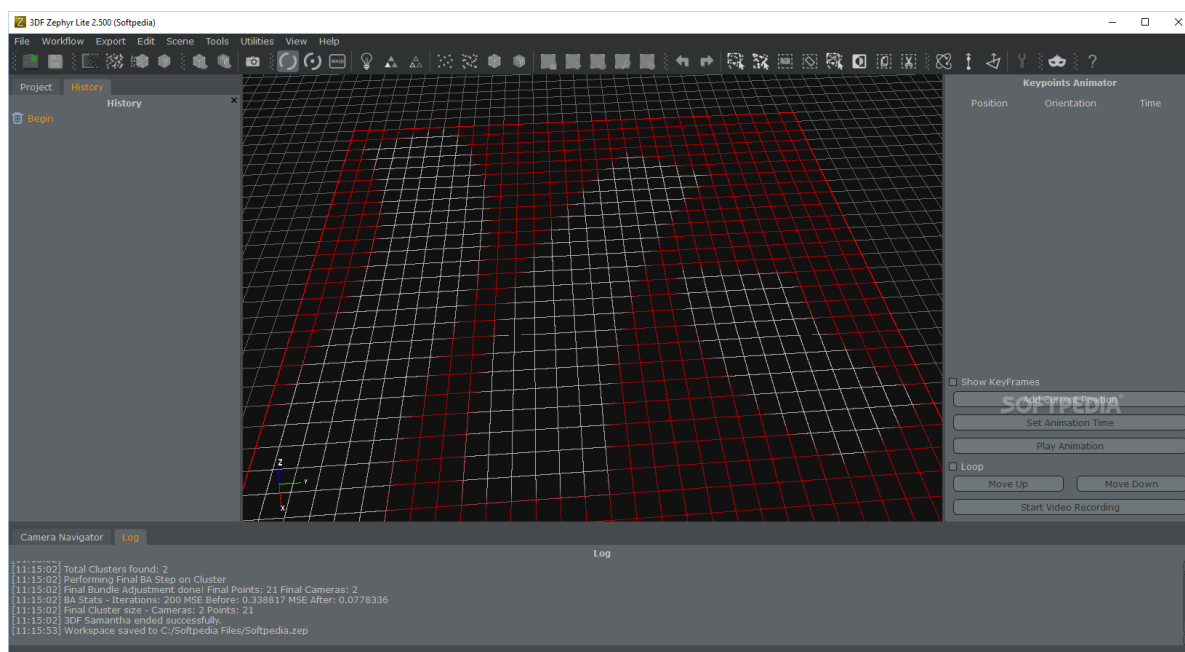
Tuki tiedostomuodoille on laaja, mutta jotakin puuttuu kuten .pdf muoto. Yleisimmät .3ds, .obj ja .ply ovat tuettuina.

6.4 3DF Zephyr

Työssä käytettiin *3DF Zephyr Lite v. 3.702* -versiota.

*3DF Zephyr*in ulkoasu on värimaailmaltaan erillainen (kuva 11), sekä sen työkalupalkki on jäsennelty esimerkillisen hyvin. Jopa työkalupalkista aukeavat pudotuspalkit aukeavat uusiin pudotuspalkkeihin, jotta on saatu aikaiseksi järjestelmällinen kokonaisuus.

Suurena osana esiin tulevat animointityökalut, joilla luotu malli saataisiin esitettyä paremmin. Nämä vievät työkalurivistä ja oikealta puolelta mallia huomattavat osan.



Kuva 11 3DF Zephyr -ohjelman käyttöliittymä (Softpedia, 2018)

6.4.1 Työvaiheet

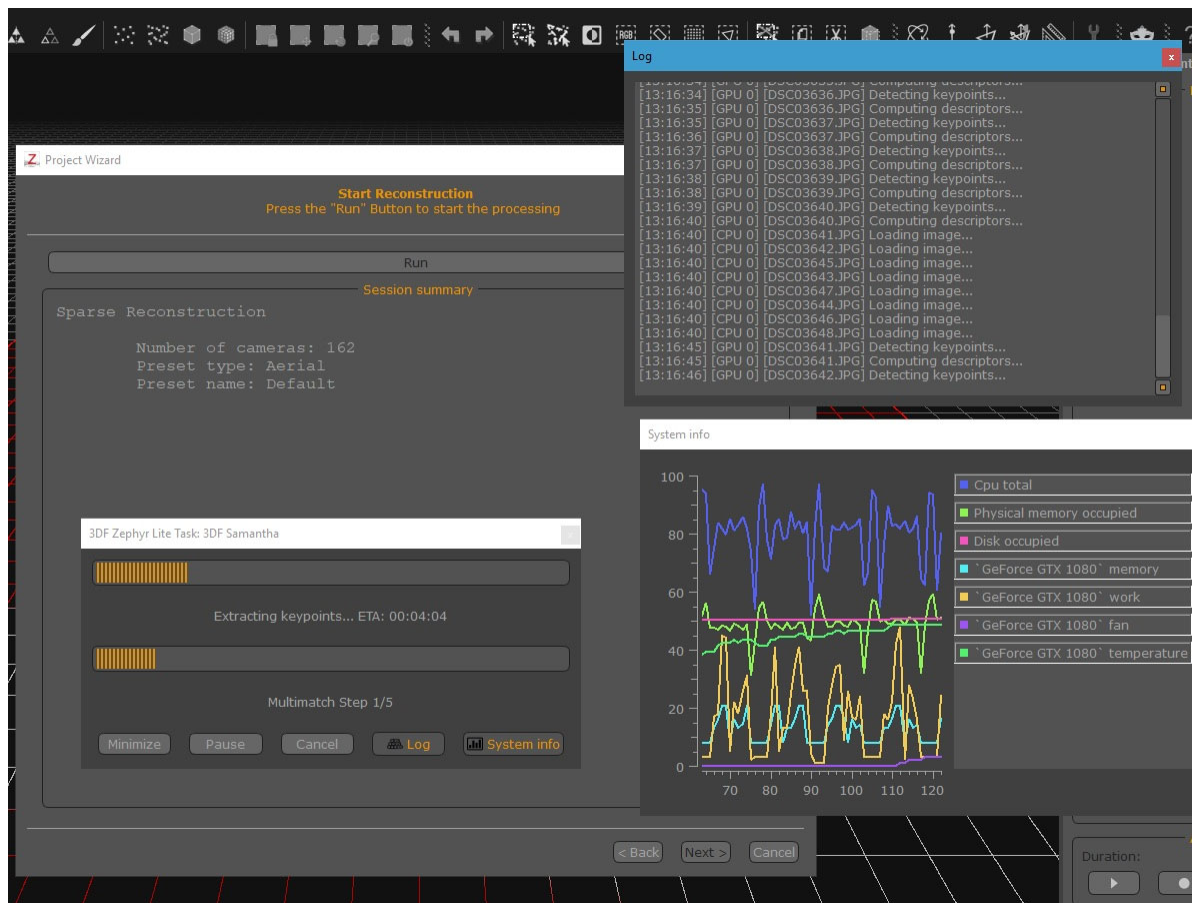
Projekti alkaa menemällä *Workflow* -valikkoon ja aloittamalla uuden projektin. Tästä avautuu avustushjelma, kysyy ensin yksinkertaisia asetuksia ja tämän jälkeen valokuva-aineiston. Muista ohjelmista poiketen *3DF Zephyr* osaa tehdä mallin myös suoraan videomateriaalista. Kun avustushjelmalle on kerrottu, minkälainen malli halutaan ja minkälainen taso vaaditaan, kokoaa se asetukset ja laskenta voidaan aloittaa.

Ennen laskennan aloittamista voidaan muiden ohjelmien tapaan rajata haluttua aluetta pienemmäksi ja näin säästää ohjelmalta aikaa sekä resursseja referenssipisteiden luomisessa.

Laskennan ajaksi avautuu pieni ikkuna, jossa kaksi palkkia kertoo osa-alueen etenemisen ja kokonaisen etenemisen. Lisävalikoista loki ja järjestelmän tiedot saadaan kätevästi esille tietoa mitä ohjelma

tekee ja kuinka paljon se käyttää tietokoneen resursseja. Jäljellä olevan ajan laskuri on hyvä, mutta se antaa vain osa-alueen ajan, eikä kokonaisaikaa (kuva 12). Ohjelmasta löytyy myös *tauko*-ominaisuus, jolla laskenta voidaan pysäyttää, kun tietokoneella halutaan tehdä jotain muuta.

Lopuksi ohjelma avaa ikkunan käytetyistä kuvista ja näistä voidaan nähdä muutamien tarkoituksella jätettyjen hajakuvien pois jättäminen.



Kuva 12 3D Zephyr -ohjelman laskennan aikainen grafiikka (Ahonen 2018)

Tämän jälkeen ohjelma näyttää lasketun harvan pistepilven sekä arvioidun paikan, josta valokuvat ovat otettu. Tämän hajapistemallin ja kameran asetuksien laskeminen ei vie edes kymmentä minuuttia. Ennen siirtymistä seuraavaan vaiheeseen kannattaa aluetta rajata pienemmäksi, jotta saadaan vähennettyä hajapisteiden määrää. Seuraavan vaihe aloitetaan taas *Workflow*-valikon alta tekemällä nyt tiheä pistepilvi. Avustusohjelma aukeaa taas ja kysyy lähes samat kysymykset ja tarjoaa oletuksena edellisessä vaiheessa annettuja, jonka jälkeen aloitetaan taas laskeminen.

Noin 25 minuutin jälkeen tiheä pistepilvi on valmis. Pistepilvessä on havaittavissa selvästi siirtymää vesitornin huipulla, sekä maassa pienellä alueella. Pistepilvi ei siis sellaisenaan ole käyttökelpoinen, vaan sitä pitäisi siistiä ja muokata. Kuitenkin kolmioverkkomallin voi tehdä tämän jälkeen ja sen voi aloittaa samalla tavalla kuin aikaisemmat vaiheet, eli *Workflow* valikosta valitsemalla *Create Mesh*.

Luotu kolmioverkkomalli on käyttökelvoton siirtyneen vesitornin yläpään takia. Mallissa on myös paljon ympäristöstä aiheutuvaa hajapistettä, mutta ne voidaan siivota mallista yksinkertaisesti pois, kun taas rakenteellisia virheitä on vaikeampi korjata.

Kun laskentaa suoritettiin uudelleen entistä vaativammilla ja tiukemmilla asetuksilla, saatiin lopputulos näyttämään erittäin hyvälle. Noin pari tuntia kestävä laskenta loi käyttökelpoisen mallin, jossa on vain muutamia hajapisteitä, mutta muuten malli on erittäin tarkka ja yksityiskohtainen. Huomattiin että tärkeä asetus, joka vaikutti mallin onnistumiseen, oli mihin kategoriaan projekti laitetaan. Kun projekti laitettiin *aerial*-kategoriaan, ohjelman omien ohjeiden mukaisesti, tuli tulokseksi hyvin huonolaatuinen malli. Tämä tapahtui, vaikka kuvat olivat otettu juuri dronella ja ohjelman olisi pitänyt pystyä ymmärtämään kuvia paremmin. Vaihtaessa kategoriaksi *urban*, joka on tarkoitettu rakennuksiin ja pieniin kohteisiin, saatiin aikaiseksi paljon laadukkaampi malli.

6.4.2 Export

Mallin vieminen *3DF Zephyristä* on yksinkertaista. Työkalupalkista valitaan *export*, jonka jälkeen mitä halutaan viedä, tässä tapauksessa *mesh*, ja pieni ikkuna aukeaa. Ikkunasta valitaan mikä *mesh* eli kolmioverkkomalli viedään, missä tiedostomuodossa malli viedään ja mitä mallin mukana halutaan viedä. Vaihtoehtoina mukana viemisessä on värit ja normaalit.

Tiedostomuotoja ohjelma antaa vähän. Mukana yleisimmistä tiedostomuodoista ovat vain *.ply* ja *.obj*.

6.5 Ohjelmien keskenäinen vertailu

Tarkasteluun valittu aineisto osoittautui ohjelmille ajoittain erittäin haastavaksi. Koska aineisto oli otettu talviaikaan, oli maaston väri suurimmaksi osaksi valkea. Kun tähän lisätään vielä vaalea vesitorni, joka on muutenkin pyöreä ja missä on erittäin vähän kiintopisteitä, tuli ohjelmille vaikeaksi luoda mallia. Tämä oli kuitenkin hyvä asia testin osalta, koska näin saatiin testattua, miten ohjelma käyttäytyy huonoimmissa mahdollisissa olosuhteissa.

Valituista ohjelmista ainoastaan *Photomodeler* ei onnistunut yhtä hyvin luomaan käyttökelpoista mallia. *Pix4D* sekä *Photoscan* molemmat tuottivat mallin mitä pitäisi vielä aika paljon siistiä, mutta *3DF Zephyr* onnistui luomaan lähes täydellisen mallin, jota pystyy melkein käyttämään sellaisenaan. Mallien välisiä mittatarkkuuksia ei päästy tarkistamaan, koska ohjelmien demo -versiot eivät usein antaneet mahdollisuutta viedä luotua mallia tai viedä sitä sellaisessa muodossa, jossa tarkastelua oltaisiin voitu tehdä.

Käyttöliittymän sekä käytettävyyden osalta ohjelmat toimivat vähän eri tavalla. *Pix4D* ja *3DF Zephyr* molemmat edustivat nykyaikaisempaa sekä yksinkertaisempaa tapaa, jossa käyttäjää opastetaan koko prosessin ajan. Käyttäjän ei tarvitse välttämättä mennä ja valita työkaluja vaan pystyy luomaan mallin ainoastaan seuraamalla avustusohjelman vaiheita eteenpäin ja täyttämällä pyydettyt tiedot.

Photoscan taas toimii siten että tärkeimmät ominaisuudet on kerätty yhden pudotuspalkin alle ja sieltä kohta kohdalta eteenpäin mentäessä käyttäjä menee vaihe vaiheelta mallintamisessa eteenpäin. Kummassakin tapauksessa tärkeimmät työkalut ja ominaisuudet on kerätty yhteen paikkaan ja onkin käyttäjän päätettävissä kummasta tyylistä enemmän pitää.

Ominaisuuksien ja teknisten tietojen osalta tuotettiin taulukko, josta voidaan nähdä kunkin ohjelman osalta, täyttyykö vaaditut vaatimukset. Näitä ei käydä läpi tämän yksityiskohtaisemmin.

6.6 Valmiin valokuvamalli hyödyntäminen

Valokuvamallinnusohjelmalla tehtyä mallia voidaan hyödyntää monella tavalla. Muutamia tapoja ovat esimerkiksi mallinnetusta kohteesta kappaleen tekeminen virtuaalimaailmaan, pintamalli suunniteluohjelmiin tai mallin käyttäminen tietomallinnuksen pohjana. Käydään seuraavaksi lyhyesti läpi vain tietomallinnus eli BIM:in puolta, koska se palvelee eniten VRT:n käyttötarkoitusta.

Valmiin mallin vieminen BIM:iin voi olla aikaa vaativaa. Kun mitään standardia tiedostomuodoista ei ole. Seurauksena tästä on valtavat erot ohjelmien välillä kolmioverkkomallien tuomisessa. Esimerkkeinä *Autodesk Revit* ja *SketchUp*. Revittiin ei pystytty suoraan viemään kolmioverkkomallia, mutta siihen on saatavilla lisäosia, jotka tuovat tämän ominaisuuden. *SketchUp* taas tukee erittäin montaa tiedostomuotoa ihan sellaisenaan, jonka ansiosta siihen voidaan viedä malli lähes kaikissa muodoissa.

Useimmat ohjelmat kuitenkin tukevat .obj, .fbx ja .3ds muotoja, mutta poikkeavuuksia on paljon. Jotkin ohjelmat eivät yksinkertaisesti tue minkäänlaista kolmioverkkomallin tuomista ja jotkin ohjelmat tukevat erittäin montaa tiedostomuotoa. Tiedostomuodoista .obj:n avoimen formaatin ansiosta on kaikkein laajin tuki sovellusten välillä ja sitä voikin siten käyttää monessa eri 3D-mallinnus tarkoituksessa. .fbx on tarkoitettu lähinnä *Autodeskin* tuotteiden väliseen tiedonsiirtoon, samoin kuin .3ds. .stl muodolla on myös valtava tuki ohjelmien välillä ja sitä käytetäänkin usein mallinnustarkoituksissa sekä nopeassa suunnittelussa. Huonona puolena .stl muodossa on, ettei se tue värejä ja tekstuureja kuten muut tiedostomuodot. (Core77, 2018.)

Kun ohjelma tietomallintamiseen on valittu, pystytään valokuvamallin perusteella aloittamaan tietomallinnus. Valokuvamalli ei tästä eteenpäin prosessissa eroa juurikaan muilla tavoilla tuotetuista malleista, kuten vaikka laserilla tuotetusta mallista, kuin värityksen ja ei aivan yhtä tarkan mallinnustarkkuuden osalta. Mallista voidaan ruveta määrittämään, laskemaan ja luomaan osia, ja näin saada aikaiseksi kattava tietomalli. (Photomodeler, 2018.)

7 POHDINTA

Valokuvamallinnusohjelmien määrä nykypäivänä on valtava ja niistä pitäisi löytää omiin tarkoituksiin ja tarpeisiin se oikea. Kuitenkaan aivan kaikkien ohjelmien keskinäinen vertailu ei edes olisi mielekästä niiden erilaisten suuntausten ja ominaisuuksien takia.

Päätarkoituksena oli tässä työssä löytää VRT:n tarpeisiin nähden sopivat ohjelmat ja vertailla niitä keskenään. Otoksena neljän ohjelman keskenäinen vertailu on hyvä, mutta *RealityCapture* ohjelmiston testaamisen harmillinen epäonnistuminen olisi tuonut kuitenkin vielä yhden ohjelman lisää. Kuitenkin saatiin rajattua kaikista työhön valituista ohjelmista pois ne, jotka eivät täyttäneet vaatimuksia. Näin VRT sai käsityksen heidän tarpeisiinsa käyvistä ohjelmista ja niiden ominaisuuksista.

Tuotetuista kaavioista voidaan valita halutut ominaisuudet, jonka jälkeen vertailusta sekä työvaiheiden läpikäynnistä pystytään saamaan kuva ohjelmien toimivuudesta ja käytettävyydestä. Tämän perusteella voidaan lähteä kehittämään työprosesseja kokonaisuutena, kun ohjelmiston valinnan pitäisi olla helppoa ja yksinkertaista.

7.1 Jatkokysymykset

Tutkimus toi esiin uusia kysymyksiä valokuvamallintamisesta sekä ohjelmistoista. Jos jokin taho haluaa tätä alaa tutkia ja viedä kehitystä eteenpäin, voin listata muutamia kysymyksiä, jotka tulivat esiin työtä tehdessäni.

- valokuvien määrän vaikutus mallin laatuun
- valokuvamallien välinen vertailu, tarkempi laskenta vai enemmän kuvia
- kuvien sijaintitietojen tarkkuuden ja vertailupisteiden käsinlaittamisen vaikutus mallintamisen laatuun
- kameroiden ominaisuuksien ja asetusten vertailu laadun kannalta
- ohjeet dronella lentämiseen, yleiset sekä alueelliset säännökset
- tietokoneen laskentatehon vaikutus laskenta-aikaan
- valokuvamallinnuksen käyttö koulutuksessa

Valokuvamallinnus tuntuu omaavan suurta teknologiaa ja huomattavia mahdollisuuksia, kuitenkin sen käyttöä tai perusteita ei kouluteta. Jos asiaa koulutettaisiin ja tuotaisiin enemmän esille, edes jollain peruskurssilla, voitaisiin tulevaisuudessa nähdä valokuvamallinnus aktiivisempänä osana mallintamista ja ehkä uusia käyttömahdollisuuksia.

7.2 Itsearviointi

Työ oli mielekäs ja se opetti paljon omasta mielenkiinnon kohteesta 3D -mallintamisesta ja virtuaali-maailmasta. Vaikka haasteina oli usein lähteiden, ohjeiden ja tietotekstien löytäminen ainoastaan englanniksi, pystyin samalla kehittämään tätäkin osa-aluetta sekä opin uutta. Myös valokuvamallinnusohjelmien käyttäminen ja opetteleminen vaati paljon aikaa sekä teknisiä resursseja, nyt kuitenkin osaan käyttää ja mahdollisuuksieni mukaan opastaa muita käyttämään näitä ohjelmia.

Työ itsessään on mielestäni onnistunut, siinä pyrittiin tuomaan esiin parhaimmat ohjelmat ja taulukoiden avulla listaamaan niiden ominaisuuksista. Toivon että tästä työstä on hyötyä monelle ja mahdollisesti innoittaisi uusiin tutkimuksiin sekä kysymyksiin.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ADMIN, 2015. Opi perusteet photogrammetriasta nopeasti ja tule ammattilaiseksi. (Know basics about photogrammetry quickly and become expert.) [verkkajulkaisu] GrindGIS. Saatavissa: <http://grindgis.com/blog/basics-photogrammetry> viitattu 22.10.2018

AGISOFT, 2018. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <http://www.agisoft.com/> viitattu 22.10.2018

Angela Montaner, 2015. Photomodeler käyttöliittymä kuva. <https://technobsa3bmontanerangela.wordpress.com/photo-modeler/> viitattu 22.10.2018

ANIWAA 2018. 3D skannauksen teknologia ja 3D skannauksen prosessi. (3D scanning technologies and the 3D scanning process.) [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> viitattu 22.10.2018

AUTODESK, 2018. ReCap. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview> viitattu 22.10.2018

BLIZARD, Brandon 2014. Fotogrammetrian taide: kuinka otat kuvasi. (The art of photogrammetry: how to take your photos.) [verkkajulkaisu] Tested. Saatavissa: <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/> viitattu 22.10.2018

CORE77, 2018. Erilaisten 3D-tiedostomuoto tyyppien ymmärtäminen (Understanding the different types of 3D files.) [verkkajulkaisu] Saatavissa: <http://www.core77.com/posts/67499/Understanding-the-Different-Types-of-3D-Files> viitattu 22.10.2018

DIRECT DIMENSIONS 2018. Melkein kaikki mitä halusit tietää 3D skannauksesta. (Almost everything you always wanted to know about 3D scanning.) [verkkajulkaisu] Saatavissa: http://www.dirdim.com/lm_everything.htm viitattu 22.10.2018

Dronenthusiast, 2018. Drone kuva. <https://www.dronethusiast.com/best-professional-drones/> viitattu 22.10.2018

CAPTURINGREALITY, 2018. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.capturingreality.com/> viitattu 22.10.2018

CORRIGAN, Fintan 2017. Parhaimmat drone 3D fotogrammetria vinkit sekä ohjelmat aloittelijalle. (Top drone 3D photogrammetry tips including photograms for beginners.) [verkkajulkaisu] DroneZon. Saa-tavissa: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/top-drone-3d-photogrammetry-tips-including-photograms-for-beginners/> viitattu 22.10.2018

CYBERCITY, 2018. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <http://www.cybercity3d.com/> viitattu 22.10.2018

FLIR, 2018. Liike fotogrammetrian käyttäminen realististen 3D liikkeiden renderöimiseksi elokuvissa. (Using motion photogrammetry for rendering realistic 3D movement in movies.) [verkkajulkaisu] Case studies. Saatavissa: <https://eu.ptgrey.com/case-study/id/11126> viitattu 22.10.2018

Fstoppers, 2018. Agisoft Photoscan käyttöliittymä kuva. <https://fstoppers.com/originals/creating-3d-models-photos-250152> viitattu 22.10.2018

ETH3D, 2018. ETH3D Benchmark. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.eth3d.net/> viitattu 22.10.2018

GIS RESOURCES, 2014. Mitä on fotogrammetria? (What is photogrammetry?) [verkkajulkaisu] Basics of photogrammetry. Saatavissa: http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/ viitattu 22.10.2018

ISOTALO, Katri 2017. Semantiikka mullistaa 3D-kaupunkimallin käyttömahdollisuudet. Positio 1, 8 – 11. [digilehti] Saatavissa: https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/06/Positio_1_2017_0.pdf viitattu 22.10.2018

KIINTOPUU, 2018. Tietomallinnuksen merkitys rakennusten suunnittelussa ja CLT-tuotannossa. [verkko-julkaisu] Saatavissa: <https://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/tietomallinnuksen-merkitys-rakennusten-suunnittelussa-ja-clt-tuotannossa.pdf> viitattu 22.10.2018

KNICKER, Mike 2014. 3D skannauksen perusteet: kuinka jäsennelty valoskannaus toimii. (3D scanning basics: how structured light scanning works.) Q-PLUS labs. Dimensional measurement blog. [verkko-julkaisu] Saatavissa: <http://info.qpluslabs.com/blog/3d-scanning-basics-how-structured-light-scanning-works> viitattu 22.10.2018

KOLARI, Antti 2012. Rakennuksen tietomalli rakennusalan perustutkinnossa. Savonia ammattikorkeakoulu. Rakentamisen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41880/Kolari_Antti.pdf?se- viitattu 22.10.2018

KUZMIN, Vlad 2018. Täysi fotogrammetria ohje 3D artisteille. (Full photogrammetry guide for 3D art-ists.) [verkkajulkaisu] 80 LEVEL. Saatavissa: <https://80.lv/articles/full-photogrammetry-guide-for-3d-artists/> viitattu 22.10.2018

LASER DESIGN, 2018. 3D skannaus teknologia – kova työ joka näyttää ”taialle”. (3D scanning technology – hard work that looks like “magic”.) [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning> viitattu 22.10.2018

LIEVENDAG, Nick 2017. Autodesk ReMake fotogrammetria tarkastelu. (Autodesk ReMake photogrammetry review.) [verkkajulkaisu] 3D Scan Expert. Saatavissa: <https://3dscanexpert.com/autodesk-remake-review/> viitattu 22.10.2018

LIEVENDAG, Nick 2016. Autodesk 123D Catch. [verkkojulkaisu] 3D Scan Expert. Saatavissa: <https://3dscanexpert.com/autodesk-photogrammetry-review-123d-catch/> viitattu 22.10.2018

MAXON, 2018. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://www.maxon.net/en/> viitattu 22.10.2018

MIN, Oh 2015. Epätäydellisyys täydellisyydeksi. (Imperfection for perfection.) [verkkojulkaisu] Unreal Engine. Saatavissa: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/imperfection-for-perfection> viitattu 22.10.2018

NATIONAL BIM STANDARD, 2014. Usein kysytyjä asioita kansallisesta BIM -standardista. (Frequently asked questions about the national BIM standard.) [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://web.archive.org/web/20141016190503/http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1> viitattu 22.10.2018

PHOTOMODELER, 2018. Kameroista PhotoModelerissa. (About cameras in PhotoModeler.) [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://www.photomodeler.com/products/about_cameras.html viitattu 22.10.2018

PHOTOMODELER, 2018. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.photomodeler.com/index.html> viitattu 22.10.2018

PHOTOMODELER, 2018. BIM datan saaminen: edullinen vaihtoehto laser skannaukselle (Capturing BIM Data: An affordable alternative to laser scanning.) [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://info.photomodeler.com/blog/capturing-bim-data-affordable-alternative-laser-scanning/> viitattu 22.10.2018

PIEKSA, Ilkka 2017. Fotogrammetrian ja kuvantunnistusohjelmiston hyödyntäminen rakenteiden vauriokartoituksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan diplomityö. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24763/Pieska.pdf?sequence=1&isAllowed=y> viitattu 22.10.2018

PIX4D, 2018. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://pix4d.com/> viitattu 22.10.2018

Pix4D, 2018. Pix4Dmapper käyttöliittymä kuva. <https://pix4dmapper.software.informer.com/1.3/> viitattu 22.10.2018

SCÖNBERGER, Johannes 2018. Noin. (About.) [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://demuc.de/> viitattu 22.10.2018

Softpedia, 2018. 3DF Zephyr käyttöliittymä kuva. https://www.softpedia.com/get/Multimedia/Graphic/Graphic-Editors/3DF-Zephyr-Lite.shtml#sgal_0 viitattu 22.10.2018

STAR RAPID, 2016. Mikä on koordinaatteja mittaava laite ja kuinka se takaa osiesi laadun? (What is coordinate measuring machine and how does it ensure the quality of your parts?) [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.starrapid.com/blog/what-is-a-coordinate-measuring-machine/> viitattu 22.10.2018

TANKSANDTEMPLATES, 2018. Tulostaulukko (Leaderboard.) [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.tanksandtemplates.org/leaderboard/> viitattu 22.10.2018

Vihanta, Ville 2013. Virtuaalimallin laatiminen ja sen hyödyntäminen asemakaavoituksessa. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57347/Vihanta_Ville.pdf?sequence=1 viitattu 22.10.2018

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2018. Fotogrammetrian tieteestä ja teknologiasta. (About the science and technology of photogrammetry.) [verkkajulkaisu] Haettu osoitteesta: <http://www.wsdot.wa.gov/mapsdata/Photogrammetry/About.htm> viitattu 22.10.2018

3DFLOW, 2018. 3DF Zephyr valokuvausohje. (3DF Zephyr photography guide.) [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.3dflow.net/technology/documents/photogrammetry-how-to-acquire-pictures/> viitattu 22.10.2018

3DFLOW, 2018. Valokuvaus tasaista pintaa vasten. [digikuva] Valokuvaus kohteen ympäri [digikuva] 3DF Zephyr valokuvausohje. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.3dflow.net/technology/documents/photogrammetry-how-to-acquire-pictures/> viitattu 22.10.2018

3DFLOW, 2018. [verkkajulkaisu] Saatavissa: <https://www.3dflow.net/> viitattu 22.10.2018

LIITE 1: VALOKUVAMALLINNUSOHJELMIEN OMINAISUUKSIEN VERTAILU

Pix4D						
versiot	Mapper	Bim	Model	Ag	Fields	
hinta	2600€ / vuosi	3990€ / vuosi	499€ / vuosi	1299€ / vuosi	ei vielä myynnissä	
pistepilvi	x	x	-	-	x	
kolmioverkkomalli	x	x	x	-	x	
mallimuokkauksenmahdollisuus	x	x	x	ei tietoa		
valokuvien määrä	rajoittamaton	rajoittamaton	rajoittamaton	ei tietoa		
tuki laserskannaukselle	-	-	-	ei tietoa		
tuki moni CPU/GPU	on / on	on / on	on / on	ei tietoa		
apupisteet	x	x	x	ei tietoa		
sijaintitiedot	-	-	-	ei tietoa		
mittaus	x	x	x	x	x	
massalaskenta	x	x	-	-	-	
tuettut tiedotomuodot	.obj, .ply, .dxf, .fbx, .las, .laz, .xyz, .shp, .pdf, .dgn, .kml ja 3Dpdf		.obj, .ply, .dxf, .fbx, .osgb ja .slpk		ei tietoa	
tekniinen tuki	henkilökohtainen		yhteisö		henkilökohtainen	
Laskenta-aika	Noin 1,5 tuntia		ei tietoa			
suositellut järjestelmävaatimukset						
Windows 10 / 8 / 7 64-bit sekä Linux 4 tai 8 -ydin Intel i7 tai Xeon näytönohjain, jossa yli 2GB muistia sekä OpenGL 3.2 -tuki						

3DF Zephyr					Photoscan		
versiot	Free	Lite	Pro	Aerial	Professional	Standard	
hinta	ilmainen	149,00€ + alv.	2400,00€ + alv.	3900,00€ + alv.	2937,66€	150,28€	
pisteplivi	x	x	x	x	x	x	
kolmioverkkomalli	x	x	x	x	x	x	
mallimuokkauksenmahdollisuus	x	x	x	x	x	x	
valokuvien määrä	50	500	rajoittamaton, riippuen muistin määrästä				
tuki laseskannaukselle	vain katselu		x	x	-	-	
tuki moni CPU/GPU	1 / 1	1 / 2	1 / moni GPU tuki		on / on	on / on	
apupisteet	-	-	x	x	x	-	
sijaintitiedot	-	-	-	x	x	-	
mittaus	-	-	x	x	x	-	
massalaskenta	-	-	x	x	x	-	
tuetut tiedotomuodot	.ply, .stl, .obj, .mtl ja 3D malli Sketchfabiin		.ply, .stl, .obj, .mtl, .fbx, pdf3D, universal3D, .dae ja 3D malli Sketchfabiin		.obj, .ply, .las, .laz, .dxf, .e57, .pts, .u3d, .oc3, .c3d, .pdf, .3ds, .dae, .stl, .fbx, .kmz		
tekeminen tuki	foorumi	foorumi ja perus email	foorumi ja email		foorumi		
Laskenta-aika	Noin 45 minuuttia				noin tunti		
suositellut järjestelmävaatimukset	Windows 10 / 8.1 / 8 / 7 / Vista 64-bit 4-ydin Intel tai AMD prosessori 16GB keskusmuistia 20GB kovalevy tilaa Nvidia näytönohjain, jossa yli 2GB muistia sekä CUDA -tuki				Windows, Mac OS X, Debian ja Ubuntu 64-bit 4 tai 8 -ydin intel i7 tai Xeon prosessori 32GB keskusmuistia Suuritehoinen näytönohjain OpenCL tai CUDA -tuella		