

Fotogrammetrian hyödyntäminen kone- ja laitossuunnittelun lähtötieto- jen hankinnassa

Jaakko Kaartinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma
Tuotekehitys

Tekijä(t) Kaartinen, Jaakko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 56	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi Fotogrammetrian hyödyntäminen kone- ja laitossuunnittelun lähtötietojen hankinnassa		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Henell Antti, Luosma Petri		
Toimeksiantaja(t) Elomatic Paper & Mechanical Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Elomatic Paper & Mechanical Oy ja aiheena oli fotogrammetrian hyödyntäminen lähtötietojen hankinnassa keskittyen laitos- ja konesuunnitteluun. Tavoitteena oli kartoittaa ja vertailla fotogrammetriamenetelmiä hyödyntäviä ohjelmistoja, joilla olisi mahdollista luoda riittävän tarkkoja ja laadukkaita 3d-malleja suunnittelun lähtötiedoiksi. Työssä sivuttiin fotogrammetrian käyttöä myös Elomaticin muihin toimialoihin, kuten visualisointiin.</p> <p>Tutkimustyötä tehtiin laadullisella tutkimusotteella, jolloin vertailtavien ohjelmien ominaisuudet ja tulokset arvioitiin. Tietoa kerättiin pääasiassa palveluntarjoajilta ja aiheeseen liittyvistä tieteellisistä julkaisuista. Vertailuaineisto tehtiin kuvaamalla teollisuusympäristössä hyvin imitoiva, ilmastointikoneikolle tarkoitettu tila Elomaticin Jyväskylän konttorilla. Vertailtavia ohjelmistoja opinnäytetyössä oli neljä, joissa kaikissa käytettiin samaa valokuva-aineistoa mallien prosessoimiseksi. Vertailtavien ohjelmien välillä määritettiin ominaisuuksia, joita vertailemalla voitiin arvioida ja analysoida sopivin ohjelma aiheen käyttökohteisiin. Vertailuun määräytyi ominaisuudet, jotka vaikuttavat suoraan menetelmän toimivuuteen palveluna. Fotogrammetriamenetelmillä saatuja malleja vertailtiin laserskannauksella saatuihin malleihin, mikä paransi vertailun luotettavuutta.</p> <p>Lopputuloksena työlle saatiin vertailutaulukko, jolla voitiin tehdä johtopäätöksiä ohjelmien ja menetelmän soveltuvuudesta kone- ja laitossuunnittelun lähtötietojen hankinnassa. Johtopäätösten perusteella voitiin tehdä ohjelmistohankinta yritykseen. Työtä voidaan pitää pohjana tulevaisuuden vertailuihin ja työn sisältämää tietopohjaa voidaan käyttää koulutustarkoituksiin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Fotogrammetria, konesuunnittelu, laitossuunnittelu, 3d-kuvantaminen, lähtötiedot		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) Liitteet 1-4 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste Julkisuuslain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta. Salassapito päättyy 21.5.2024.		

Author(s) Kaartinen, Jaakko	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 56	Permission for web publication: X
Title of publication Utilization of photogrammetry for obtaining initial data for machine and plant design		
Degree programme Degree programme in Mechanical Engineering		
Supervisor(s) Henell Antti, Luosma Petri		
Assigned by Elomatic Paper & Mechanical Oy		
Abstract <p>The assignment for this thesis came from Elomatic Paper & Mechanical Oy. The subject was to study utilization of photogrammetry for obtaining initial data specifically for machine and plant design. The goal was to study and compare photogrammetry software that can produce accurate and reliable 3D-models that are used as initial data for engineering and designing. Elomatic also has other business areas that photogrammetry can support, such as visualization services.</p> <p>The study was qualitative, where the features and properties of the software were compared and evaluated. The material for the study were acquired mostly from service providers and from scientific literature related to the subject. Reference material for the comparison was made by photographing an air conditioning unit which imitated an industrial setting at Elomatic office in Jyväskylä. There were four software in the comparison. The same reference material was used to process the 3D-models using the different software. Specific features and properties in the software were selected for the comparison to evaluate and analyze their usability in the study case. The comparison was based on features and properties that directly affect the functionality of using photogrammetry as a service. The models processed with photogrammetry were compared to models made from laser scanner data. This improved the reliability of the comparison data.</p> <p>The result was a comparison table that showed how well photogrammetry as a method is suited for acquiring initial data for machine and plant design. Based on those conclusions, the company also acquired some software. The thesis can be used as a reference material or for training in the future.</p>		
Keywords/tags (subjects) Photogrammetry, machine design, plant design, 3D imaging, initial data		
Miscellaneous (Confidential information) Attachments 1-4 are confidential, and they have been removed from the public work. Confidentiality is based on section 24 (17) of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999): business or professional secrecy of the company. Period of secrecy is five (5) years and it ends 17.5.2023.		

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Elomatic.....	5
1.2	Aihe.....	6
1.3	Tavoitteet	7
2	Fotogrammetria	8
2.1	Fotogrammetriamenetelmä.....	8
2.2	Fotogrammetrian historia	10
2.3	Fotogrammetrian sovellutukset mallinnukseen	12
3	Ohjelmistot	12
3.1	Fotogrammetriaan liittyvät ohjelmistot.....	13
3.2	3d-mittausdataa hyödyntävät ohjelmistot	13
4	Laitteisto	14
4.1	Valokuvauslaitteisto	14
4.1.1	Järjestelmäkamerat	15
4.1.2	Actionkamerat ja 360°-kamerat	15
4.2	Prosessointilaitteisto	16
4.3	Mittalaitteet ja referenssimitat.....	17
5	Vertailuprosessi.....	17
5.1	Vertailuaineisto ja sen hankinta.....	18
5.1.1	Valokuvauksen toimintasuunnitelma ja toteutus	19
5.1.2	Valokuvauskalusto.....	25
5.2	Ohjelmistojen vertailu	25
5.3	Fotogrammetria vs. laserskannaus	26
6	Johtopäätökset.....	27
6.1	Fotogrammetrian edut ja haasteet	27
6.2	Vertailun lopputulokset.....	27

7	Pohdinta.....	27
	Lähteet	29
	Liitteet	30
	Liite 1. Vertailutaulukko, jossa esitetään ohjelmien vertailtavat ominaisuudet. (Salassa pidettävä.)	30
	Liite 2. Ohjelmistojen vertailu. (Salassa pidettävä.).....	31
	Liite 3. Fotogrammetrian ja laserskannauksen vertailu. (Salassa pidettävä.)	32
	Liite 4. Fotogrammetrian edut ja haasteet. (Salassa pidettävä.).....	33
	Liite 5. Vertailun lopputulokset. (Salassa pidettävä.)	34

Kuviot

Kuvio 1. Objektin kuvaamisesta malliksi. (Boehm, Kyle, Luhmann, Robson, 2013, 3.)	.9
Kuvio 2. Fotogrammetriaprosessi, kuvasta malliksi. Suomennettu kuvio. (Boehm, Kyle, Luhmann, Robson, 2013, 3.)	9
Kuvio 3. Stereoautografi vuonna 1941-1945. (Royal air force: Central interpretation unit / Allied central interpretation unit, 1941-1945.)	11
Kuvio 4. IV-tilassa sijaitseva ilmastointikoneikko	20
Kuvio 5. Valokuvaussuunnitelma VR-labrassa.	21
Kuvio 6. Kuvien ottopaikat esitettynä ContextCapturella generoidussa mallissa.	22
Kuvio 7. IV-tila valaistuna tilan normaalilla valaistuksella	24
Kuvio 8. IV-tila valaistuna pelkillä valopaneeleilla.	24

Taulukot

Taulukko 1 Ohjelmista ulos vietävät tiedostoformaatit.	26
---	----

1 Johdanto

Kone- ja laitossuunnittelun uusintaprojektit pohjautuvat keskeisesti saatuihin lähtötietoihin. Näitä lähtötietoja ovat esimerkiksi vanhat dokumentaatiot, kohteesta tehdyt pistepilviaineistot tai pintamallit, valokuvat tai esimerkiksi rullamitalla mitatut mitat. Pistepilviaineistoja tehdään yleisesti laserskannaamalla, mutta myös fotogrammetriamenetelmillä voidaan tehdä suunnitteluun käytettäviä pistepilviaineistoja. Kustannustehokkaiden 3d-mittausmenetelmien kehitys on kriittistä yrityksen kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. Mittausmenetelmiä on useita ja mittausmenetelmien soveltuvuudet vaihtelevat mittauskohteista riippuen. Tarkkuusskannaus on hyvä menetelmä pieniin kappaleisiin, jotka ovat kooltaan senttimetreistä maksimissaan muutamaan metriin. Vaihe-erokeilaimilla tehty mittaus on hyvä laitos- ja koneskanauksissa, jolloin mittauskohteiden koot ovat sadoissa metreissä. Drone (UAV) –menetelmä on hyvä rakennusten mittauksen ja maastonmittauksen kannalta, jolloin mittauskohteiden koot voivat olla useita satoja metrejä tai kilometrejä.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Elomatic Paper & Mechanical Oy. Opinnäytetyössä tarkastellaan fotogrammetriamenetelmien soveltuvuutta mittausmenetelmänä ja sen toimivuutta Elomaticin asiakasprojekteihin. Toimeksiantajan edustajana toimii Timo Piirainen, Senior Vice President, ja ohjaavana henkilönä Elomaticin puolelta toimii Samu Sundberg, Design Manager. Samu Sundberg toimii Elomaticin laserskanauksiin ryhmäpäällikkönä.

1.1 Elomatic

Elomatic Oy on suomalainen vuonna 1970 perustettu insinööritoimisto, jonka palveluja ovat suunnittelu, konsultointi, tuotekehitys, projektinhallinta, tuotteet ja kokonaisratkaisut teollisuuden yrityksille. Työntekijöitä Elomaticilla on yli 950 ja liikevaihto on +81 milj. euroa. (Mustonen, 2019.)

Mittauspalvelut ovat merkittävä osa Elomaticin Technology Solutions liiketoiminnan palveluntarjontaa. Pistepilviaineistoja käytetään yrityksen sisäisesti myös suunnittelussa. Elomaticin palveluita ovat 3d-mittaus laserskannauksella ja drone (UAV) -kuvauksella. Laserskannaus toteutetaan pieniin kappaleisiin kädessä pidettävällä skannerilla. Laitosten ja isompien tilojen tai koneiden skannaus tapahtuu vaihe-erokeilain laserskannerilla. Drone -kuvaus perustuu fotogrammetriaan, eli dronella ilmasta otettuihin kuviin, jotka jälkikäsitellään 3d-malliksi. 3d-mittaus on oleellista projekteissa, joissa lähtötiedot ovat epävarmat tai tuntemattomat.

1.2 Aihe

Opinnäytetyössä tutkitaan fotogrammetriamenetelmien soveltuvuutta kone- ja laitosuunnittelun lähtötietojen hankinnassa. Elomaticin palveluihin kuuluu mittauspalvelut ja tällä hetkellä se ei sisällä fotogrammetriamenetelmiä hyödyntäviä mittaus-tekniikoita pienille kappaleille tai sisätilakohteille (close range photogrammetry).

Opinnäytetyössä toteutetaan laadullinen tutkimus ohjelmistoista, joilla voidaan prosessoida 3d-malleja hyödyntäen fotogrammetriaa. Samasta aineistosta tehdään eri ohjelmistoissa 3d-mallit, jotta voidaan suorittaa vertailu ohjelmistojen välillä. Vertailun pohjalta tulee analysoida ja arvioida ohjelmien sopivuutta teollisuuden sovelluksiin. Menetelmän rajoitteet ja haasteet ovat oleellinen osa menetelmän soveltuvuutta teollisuuskohteiden mittaamiseen, joten niitä arvioidaan. Valokuvausmenetelmien ja valokuvauskalustojen välisiä eroja arvioidaan ja vertaillaan yleisellä tasolla. Yleismaailmallisesti sopivimmat kalustovaatimukset ovat jo tiedossa, mutta esimerkiksi valaistuksen käytön suhteen tulee tehdä testauksia.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa Elomaticille tietoa, jota voidaan käyttää esimerkiksi ohjelman valinnassa. Fotogrammetriamenetelmien hyödyntämistä sisätilamittauksessa on maailmalla tehty, mutta konkreettista faktatietoa ja näyttöä sen toimivuudesta on vaikea löytää. Samalla voidaan todentaa, että mihin menetelmä soveltuu ja mihin ei. Tämän takia opinnäytetyössä suoritetaan testausta ja vertailua asiakasprojekteille tyypillisissä ympäristöissä.

1.3 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä vertailu ohjelmistoille, joilla voidaan tehdä pistepilviä ja/tai pintamalleja fotogrammetriaa hyödyntävillä mallinnusmenetelmillä. Jotta ohjelmistoista voidaan tehdä perusteellinen ja luotettava vertailu, tulee fotogrammetriaa hyödyntävien mallinnusmenetelmien perusteet olla hallinnassa. Fotogrammetrian sovelluskohteet ja rajoitteet tulee selvittää.

Tarvittava ja toimiva kalusto pitää myös olla selvillä, jotta voidaan varmistaa, että mahdollinen epäonnistunut lopputulos ei ole johtunut esimerkiksi väärästä kalustosta. Tietokoneet, valokuvauskalusto ja mahdollisen muun kaluston tarve menetelmän toimivuudelle tulee selvittää.

Toinen merkittävä tavoite on määritellä sopivat oletusarvot fotogrammetrialla saataville malleille tarkkuuden suhteen. Tavoite tarkkuuden suhteen on 5-20mm luokkaa kohteesta riippuen. Opinnäytetyön tarkoituksena on nimenomaan vertailla sisätiloissa ja pienempien kokonaisuuksien mallinnusta, eikä niinkään koko laitokseen mitataavoissa. Tarkkuuden analysoinnissa käytetään laserskannausaineistoja verrokina.

Kustannuksia tulee arvioida ja laskea alustavasti. Kustannusten arviointi on myös oleellista opinnäytetyölle, jos fotogrammetriamenetelmiä harkitaan käyttöön tuoteeksi. Kustannuksia voidaan vertailla suoraan laserskannauksen kustannuksiin.

Vaikka opinnäytetyössä pääpaino on fotogrammetrian teollisuuden sovelluksissa, arvioidaan samalla sen käyttö- ja sovellusmahdollisuuksia myös visualisoinnin näkökulmasta. Visualisointipalvelut ovat osa Elomaticin palveluita ja fotogrammetrian sovellutuksia löytyy myös visualisointitarkoituksiin. Visualisoinnin kannalta fotogrammetrialla voitaisiin esimerkiksi tehdä vaivattomammin ympäristöjä esimerkiksi VR-ohjelmistoihin.

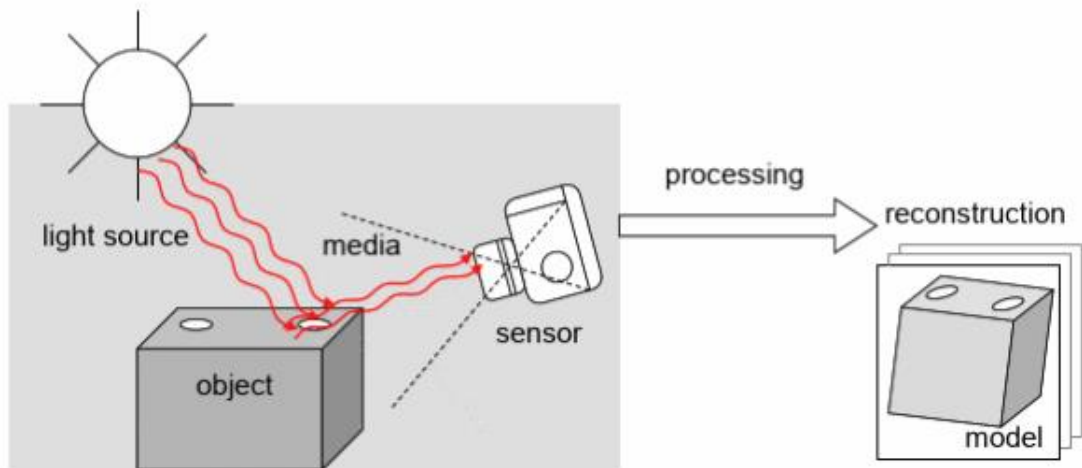
Loppujen lopuksi opinnäytetyön kannalta on merkittävintä arvioida fotogrammetriamenetelmien soveltuvuutta ja luotettavuutta teollisuuden käyttökohteissa. Erityisesti sisätilojen ja pienien konekokonaisuuksien kuvaus ja mallinnus ovat tärkeitä ajatellen kone- ja laitossuunnittelua.

2 Fotogrammetria

Fotogrammetriamenetelmällä luodaan kolmiulotteinen malli (koordinaatisto, kartta, pintamalli tai pistepilvi) digitaaliseen muotoon kaksiulotteisista valokuvista. Valokuvan ottamisessa tapahtuu informaatiohävikki, jolloin kolmiulotteinen informaatio vähenee kaksiulotteiseksi informaatioksi. Katvealueiden lisäksi kaikki muodot, joilla ei ole tarpeeksi kontrasti- tai kokoeroa, eivät erotu kaksiulotteisessa valokuvassa. Kolmiulotteisella kappaleella on avaruudessa kolme koordinaattia, mutta kaksiulotteisesta kuvasta kappaleella on vain kaksi koordinaattia. Kaksiulotteisten valokuvien avulla voidaan saada kolmas koordinaatti selville, jos kameraa liikutetaan suhteessa kappaleeseen. Eli kuvista voidaan päätellä kuvakulman muutoksen avulla kolmas koordinaatti. (Boehm, Kyle, Luhmann, Robson, 2013, 2.)

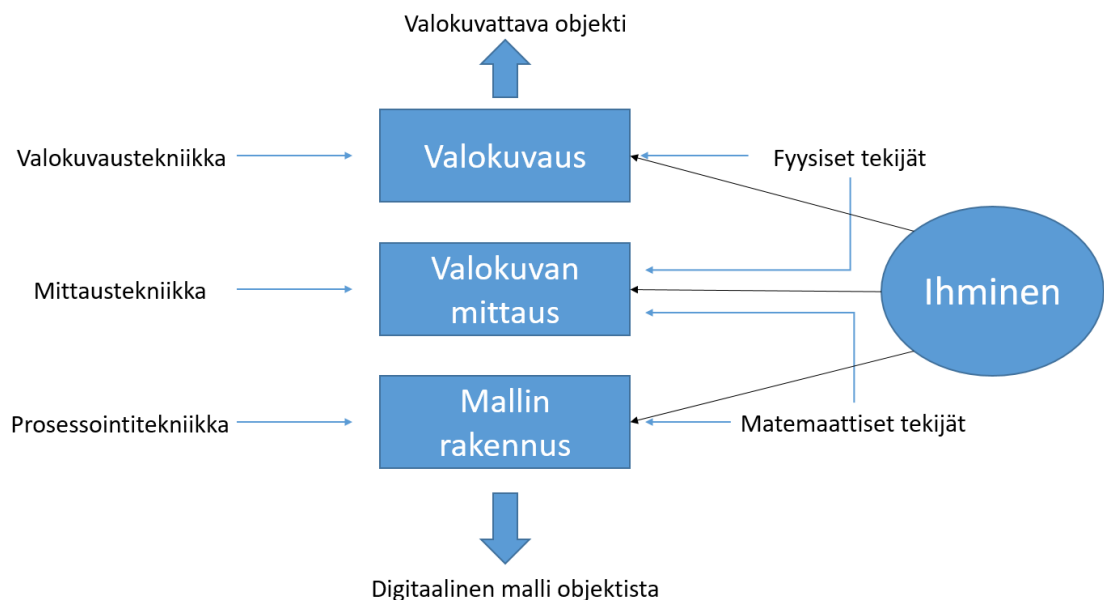
2.1 Fotogrammetriamenetelmä

3d-mallin luomiseen valokuvista vaikuttaa useita tekijöitä. Näitä tekijöitä (havainnollistus kuviossa 1) ovat kappaleen valaistus, kappaleen pinnan ominaisuudet (heijastava tai matta pinta), valon väliaineen ominaisuudet (lämpötila, ilmankosteus ja paine), valokuvaustekniikka (itse kamera ja sen linssin ominaisuudet), valokuvien prosessointi ja itse 3d-mallin luomisen prosessi. Kaikki tekijät, jotka vaikuttavat optiseen laatuun, ovat merkittäviä myös fotogrammetrian toiminnassa. Prosessointiohjelmissa valokuvista tulkitaan siinä esiintyviä muotoja, kirkkausvaihteluita ja värejä (radiometriset muutokset). Valokuvissa on pakko esiintyä joitakin edellä mainituista ominaisuuksista, jotta ohjelma voi tulkita valokuvaa mitenkään kolmiulotteisesti. (Boehm, ym. 2013, 2-3.)



Kuvio 1. Objektin kuvaamisesta malliksi. (Boehm, Kyle, Luhmann, Robson, 2013, 3.)

Prosessina fotogrammetria on yksinkertainen, yksinkertaistettu prosessi kuviossa 2. Jokaiseen fotogrammetriaprosessin vaiheeseen vaikuttaa myös henkilö, joka mallia luo. Henkilön kokemus ja tietotaito prosessin eri osista vaikuttaa lopputulokseen merkittävästi. (Boehm ym. 2013, 4.)



Kuvio 2. Fotogrammetriaprosessi, kuvasta malliksi. Suomennettu kuvio. (Boehm, Kyle, Luhmann, Robson, 2013, 3.)

Fotogrammetriamenetelmien tarkkuus on riippuvainen mitattavan kohteen koosta ja käytetystä teknologiasta. Yhden metrin kokoluokan kappaleilla tarkkuudet ovat 0,1mm kokoluokkaa ja 200m kokoluokan kohteissa tarkkuus on 1cm kokoluokkaa. (Boehm ym. 2013, 4.)

Kontaktittomat 3d-mittausmenetelmät perustuvat usein optisiin menetelmiin, jotka mittaavat sähkömagneettista säteilyä eli valoa. Sähkömagneettista säteilyä käyttävät mittaukset perustuvat kolmiomittaukseen, interferometriaan ja time-of-flight eli ToF –menetelmään eli kulkuaikatekniikkaan. Kolmiomittaukseen perustuvia menetelmiä ovat muun muassa fotogrammetria, structured light –menetelmä, jolloin mitattavaan kohteeseen projisoidaan kuvio valonheittimellä tai projektorilla, GPS (Global Positioning system) -paikannus, IPS (Indoor positioning system), eli sisätilapaikannusjärjestelmä, ja niin edelleen. Fotogrammetria yksistään perustuu mittauksiin näkyvän valon ja infrapunaspektrin osaan. Interferometriamenetelmiä ovat esimerkiksi optisesti yhtenäisen valon ToF -mittaus ja holografia. ToF -menetelmässä tehdään esimerkiksi etäisyysmittauksia, jotka hankitaan laserpulssilla. Laserpulssista mitataan aikaero, jolloin kohteeseen ammuttu lasersäteiden heijastus osuu takaisin laitteen sensorille, josta säde ammuttiin. Laserskannaus toimii usein ToF -menetelmällä. Laserskannerit käyttävät myös vaihe-erokeilausmenetelmää. Usein näitä menetelmiä käytetään kuitenkin yhdessä, jotta voidaan yhdistää kunkin menetelmän edut. (Boehm ym. 2013, 3-6.)

2.2 Fotogrammetrian historia

Mittausmenetelmänä fotogrammetriaa on alettu hyödyntämään jo vuodesta 1849 asti. Historiallisesti ensimmäiset fotogrammetriset mittaukset on tehty merkittävien rakennusten julkisivuille. Varhaiset fotogrammetriamittaukset tehtiin kameran ja teodoliitin yhdistelmällä (phototheodolite). Teodoliitilla saadaan mitattua tarkasti eri pisteiden väliset kulmat. (Boehm, ym. 2013.)

Stereoskooppinen mittaus mullisti fotogrammetriset mittausmenetelmät vuosisadan vaihteessa. Stereoskooppisessa kuvauksessa kaksi kuvaa on otettu hieman eri kuvakulmista. Tällöin, jos kuvia katsotaan stereoskoopilla kuvat vaikuttavat ihmissilmään

kolmiulotteisilta. Fotogrammetriassa kuvista voidaan mitata etäisyyksiä kulmaeron avulla (Battiato S., Di Giore G., Ortis A., Rundo F. 2013. 392-393.). Stereokojeiden avulla siirryttiin analogiseen laskentaan mittaustekniikassa (kuvio 3). Ensimmäisiä täysin automaattisesti toimivia stereoautografeja alettiin valmistaa 1908.



Kuvio 3. Stereoautografi vuonna 1941-1945. (Royal air force: Central interpretation unit / Allied central interpretation unit, 1941-1945.)

Ilmailuteknologian kehittyttyä fotogrammetriamenetelmät tulivat suosituksi maanmittausmenetelminä. Maapallon mittaus ilmasta käsin lentokoneilla mahdollisti pääsyn haastaviin paikkoihin ja nopeasti.

Analyttinen fotogrammetrian kehitys alkoi 1950-luvulla ja sen kautta myös fotogrammetrian siirtyminen digitaaliseen prosessointiin. Analyttisen fotogrammetrian yksi sovelluskohde on triangulaatio. Bundle adjustment -tekniikalla mahdollistetaan

muotojen tunnistamista kuvista. Bundle adjustmentilla tarkoitetaan 3d-kappaleen kuvaamista eri kuvakulmista ja laskemalla 3d-pisteet kuvista löytyvistä yhteisistä pisteistä. (Boehm, Kyle, Luhmann, Robson, 2013.)

2.3 Fotogrammetrian sovellutukset mallinnukseen

Fotogrammetrian sovellutuksia nykymaailmasta löytyy jo nyt paljon. Sovellutuksia löytyy esimerkiksi arkeologiasta, viihdeteollisuudesta, teollisuudesta, maataloudesta, maantieteestä ja lukuisista muista aloista.

Käytännön esimerkkinä voidaan pitää ympäristön luontia peleihin ja VR-applikaatioihin. Unity on yksi hyvä esimerkki kehitysalustasta, joka tukee fotogrammetriamenetelmillä hankittuja objekteja (What is photogrammetry? N.d.). EA DICE:n työntekijät Andrew Hamilton ja Ken Brown pitivät esitelmän fotogrammetrian käytöstä Star Wars Battlefront -pelissä vuonna 2016. Hamilton ja Brown esittelivät, kuinka fotogrammetria on muuttanut pelinkehittäjien ja animaattorien työnkulkua. Fotogrammetriaa käytettiin hahmojen ja ympäristöjen visuaalisessa suunnittelussa.

Toinen käytännön esimerkki on tilanteet, missä kohteita ei voi siirtää mittausta varten. Museoviraston julkaisemassa Hylkykuvausohje -artikkelissa kerrotaan sukeltajien kuvaamista vedenalaisista laivanhylkyistä. Kuvauksilla saadaan dokumentoitua laivojen hylt kolmiulotteisesti niitä vahingoittamatta.

3 Ohjelmistot

Opinnäytetyössä käsitellään ohjelmistoja, joissa voidaan prosessoida tai hyödyntää fotogrammetriamenetelmillä tehtäviä malleja. Pääpaino on kuitenkin malleja prosessoivilla ohjelmilla, sillä yleisesti ottaen kaikki suunnitteluohjelmistot ottavat edes jonkin tiedostoformaatin pintamalleja tai pistepilviaineistoja sisään. Elomaticilla on ennuudesta osaamista ja kokemusta pistepilvien ja pintamallien viemisestä suunnitteluohjelmistoihin, joten aiheen tutkiminen ei tuo lisäarvoa opinnäytetyölle.

3.1 Fotogrammetriaan liittyvät ohjelmistot

Fotogrammetriaohjelmistoja on useita niin pienkappaleiden, rakennusten ja alueiden kartoitukseen ja mittaukseen. Opinnäytetyötä varten arvioitavat fotogrammetriaohjelmistot ovat erityisesti soveltuvia käsin otettujen kuvien fotogrammetriamallinnuksiin. Opinnäytetyötä varten käytettävä vertailuaineisto on tuotettu käsivaraisesti kuvaamalla, sillä se vastaa todellista tilannetta. Kuvat pyritään ottamaan niin, että ne eivät ole tärähtäneitä ja niiden tarkkuus on paras mahdollinen.

Opinnäytetyössä vertaillaan eri ohjelmistoja, jotka sopivat käytettyihin menetelmiin ja kohteisiin parhaiten. Nämä ohjelmat ovat Agisoft Metashape, Pix4D, RealityCapture ja Bentley Context Capture. Muitakin ohjelmistoja on, mutta Elomaticin aieman tutkimustyön perusteella joitakin linjattiin pois vertailusta. Näitä ohjelmia ovat esimerkiksi Autodesk ReCap ja DroneDeploy.

Pix4D on jo Elomaticilla käytössä drone -kuvauksella otettujen kuvien prosessoinnissa. Pix4Dmapper on suunnattu drone -kuvaukseen, mutta ohjelmistoa voidaan käyttää myös muihin käyttötarkoituksiin. Pix4D -esittelyaineistossa kerrotaan sisätilakartoituksen GSD (geometric standard deviation = geometrinen keskihajonta) -arvon olevan alle senttimetrin luokkaa sadan kuvan aineistolla. Prosessointi tapahtuu paikallisesti tietokoneella tai Pix4D:n pilvipalvelussa. (Indoor mapping game plan, 2017.)

3.2 3d-mittausdataa hyödyntävät ohjelmistot

Suurin osa suunnitteluohjelmistoista ovat yhteensopivia jonkin pistepilvi- tai pintamallitiedostoformaatin kanssa. Yleiset suunnitteluohjelmistot, jotka hyödyntävät pistepilviä tai pintamalleja ovat esimerkiksi NX, Vertex, Cadmatic, SolidWorks, Inventor ja Catia. Pintamallit tehdään yleensä erillisellä ohjelmalla. Elomaticilla yksi käytössä oleva ohjelmisto on Geomagic, joka on monipuolinen työkalu skannausaineistojen ja pintamallien käsittelyyn. Elomaticin yleisin konesuunnitteluohjelmisto on Catia. Catia V5 - ja Catia V6 -ympäristöön voi tuoda niin pistepilviä kuin pintamalleja. Geomagic -ohjelmistolla voidaan luoda pistepilvistä kolmioverkotettuja pintamalleja, kuin myös

muokata ja korjailla pintamalleja. Geomagic on yksi monipuolisimpia ohjelmistoja pintamallien käsittelyyn. Geomagic Qualify -ohjelmalla voidaan tehdä muotoanalyysijä, jolla voidaan vertailla skannattua kappaletta esimerkiksi 3d-malliin. Muotoanalyysien teko on opinnäytetyön kannalta oleellista.

Eri ohjelmat tukevat eri tiedostoformaatteja. Pistepilvitiedostoille ei ole määriteltyä standardia pistepilvidatan säilytykselle, joka toimisi ohjelmistoissa yleisenä tiedostoformaattina (Huber, 2016). Yleisimmät Elomaticilla suunnittelussa käytettävät tiedostoformaattit ovat RCS, LAS, e57 ja XYZ. Pistepilviformaateissa on eroja tiedostokoissa ja siinä mitä informaatiota formaattiin tallentuu. Jotkin tiedostoformaattit säilyttävät esimerkiksi dataa pisteiden väreistä. Jotkin ohjelmat suosivat pistepilvien formaatin olevan XYZ -muodossa, jotkin ohjelmat taas e57 -muodossa. Tästä syystä on tärkeää huomioida vertailtavien ohjelmistojen eri tiedostoformaattityypit.

4 Laitteisto

Fotogrammetriamenetelmässä tarvitaan kalustoa valokuvaukseen, referenssimittoihin ja prosessointiin. Valokuvauslaitteiston osalta kamera, objektiivi ja valot ovat oleellisimmat kuvien onnistumisen kannalta. Jalusta on hyvä lisä, varsinkin jos tarvitaan pidemmän valotusajan kuvia. Referenssimittat voidaan saada tunnetuista pisteistä, joko mittatikun tai jonkin mittalaitteen avulla. Prosessointilaitteisto kattaa käytännössä tietokoneen ja siltä vaaditut ominaisuudet. Opinnäytetyön kannalta yksi oleellinen tutkimuskohde on valokuvauslaitteisto, sillä se on suoraan vaikutuksessa mallien laatuun ja tarkkuuteen. Tietokoneita prosessointia varten ja mittalaitteita mittausta varten Elomaticilta löytyy riittävästi.

4.1 Valokuvauslaitteisto

Fotogrammetriamenetelmille valokuvauslaitteisto on tietenkin oleellinen osa teknologiaa. Kuvauslaitteiston valinta vaikuttaa lopputulokseen merkittävästi, sillä kame-

ran taltioimasta kuvasta lasketaan lopullinen geometria ja tekstuuri. Tilanteista riippuen voidaan käyttää erilaisia kameratyyppejä. Joissakin tapauksissa tarkoituksena on luoda todella yksityiskohtainen ja näyttävä malli, kun taas joskus tarkoituksena on mitata rakennuksen julkisivun mittoja. Yleisesti ottaen paremmalla valokuvauslaitteistolla saadaan aikaisiksi parempaa laatua myös lopputuloksen suhteen. Fotogrammetriamenetelmät vaativat kuitenkin osaamista myös valokuvaamisen suhteen, jotta valokuviiin saadaan esiin mahdollisimman paljon informaatiota.

4.1.1 Järjestelmäkamerat

Valokuva-aineiston keruu tehdään Canon 5D MkII -järjestelmäkameralla, joka on Canonin lippulaivamalli muutaman vuoden takaa. Vaikka kamera ei ole uusinta uutta teknologiaa, ovat sen kuvausominaisuudet silti erittäin hyvät. Kyseinen kamera on järkevä valinta myös siksi, koska Elomaticin toimistolla on käytössä melko hyvä valikoima objektiiveja kyseiselle kameramallille.

Yleisesti sisätilavalokuvauksessa on eduksi laajat objektiivit, jotta kuvaan saadaan mahdollisimman paljon huonetta tai tilaa. Fotogrammetriaa ajatellen laajemmat linssit aiheuttavat kuviin vääristymää, mikä taas vaikuttaa suoraan prosessoitavien mallien tarkkuuteen. Tämän takia laajimmat kalansilmälinssit eivät ole suoraan paras vaihtoehto fotogrammetriaan, vaikka se olisikin nopein ja varmin tapa kerätä aineistoa. Objektiivien valovoimakkuus vaikuttaa myös lopputulokseen, sillä kuvattavat kohteet eivät aina ole optimaalisesti valaistuja. Elomaticin parhaimmat linssit fotogrammetriaa ajatellen ovat Sigman 35mm f/1.8 - ja 15mm fisheye -linssit. Sigman 35mm -linssi on kuvakulmaltaan aika kapea objektiivi sisätilojen kuvaukseen, mutta isommalla kuvamäärällä voidaan saada riittävän kattavasti aineistoa.

4.1.2 Actionkamerat ja 360°-kamerat

GoPro - ja muut actionkamerat mahdollistavat kameran helpon kuljetettavuuden ja käytön tehdasympäristöissä. GoPro -kameran voi kiinnittää kypärään ja sen taltioimasta videosta voidaan tehdä kuvasarja fotogrammetriaa varten. Actionkameroiden resoluutio ja tarkkuus eivät kuitenkaan pärjää järjestelmäkameroille. Tämän takia

niillä on haastava aikaan saada malleja, joissa on pieniä yksityiskohdilla ja tarkkoja tekstuureita. Actionkameroiden etuna on kuitenkin niiden kestävyys. Actionkamera eivät välttämättä mene rikki, jos se sattuu tippumaan tai kastumaan kuvauspaikalla.

360°-kamerat tuovat ylivoimaisesti eniten informaatiota tilakuvauksessa yhdellä kuvalla. Laajojen kuvien haittoina ovat kuitenkin lisääntyneet optiset vääristymät ja huonompi resoluutio. Nämä tekijät vaikuttavat alentavasti fotogrammetriamenetelmällä tehtyjen mallien tarkkuuteen.

Tietyissä tilanteissa kuitenkin mallit, jotka eivät ole yksityiskohtaisia, ovat tarpeeksi riittäviä. Joissain tapauksissa laserskannatut tilat ja niistä saadut pistepilvet ovatkin vain tilavaraustarkoituksiin ja tilan päämittojen todentamiseen. Action- ja 360°-kamerat ovat edullinen ja helppo vaihtoehto tilan kuvaamiseen nopeasti ja vaivattomasti. Yleisesti tämänkaltaisten kameroiden käyttö ei vaadi erikoisosaamista.

Elomaticilla on käytössä useita action- ja 360°-kameroita. Opinnäytetyössä kokeiltuja kameroita ovat GoPro Hero 5 ja GoPro Fusion. Näistä Hero 5 on perinteisempi action-kamera ja Fusion on 360°-kamera.

4.2 Prosessointilaitteisto

Tehdassuunnittelussa käytettävät pistepilvet ja pintamallit ovat yleensä raskaita tietokoneille. Fotogrammetriamenetelmiin perustuviin mallien prosessointiin vaaditaan myös valtavasti laskentatehoa. Opinnäytetyötä varten prosessoidut mallit laskettiin Elomaticin työkoneilla. Samoilla työkoneilla tehdään myös laserskannauksista tehtävät mallit, minkä vuoksi laserskannausaineiston ja fotogrammetria-aineiston prosessointiin vaadittua aikaa on hyvä vertailla keskenään.

Työtietokoneessa, millä vertailuaineiston prosessointi tehtiin, on 64 Gb keskusmuistia, Intel Xeon W-2135 prosessori ja Nvidia Quadro P4000. Tietokone on osiltaan siis melko tehokas ja suoriutuu vaativimmista prosessointitehtävistä melko hyvin.

4.3 Mittalaitteet ja referenssimitat

Fotogrammetriamenetelmillä luoduissa malleissa ei ole ulkoista mittatietoa, joten mittasuhteet täytyy määrittää erikseen. Mittasuhteiden määrittämiseksi kuvista tai kuvatiedostosta täytyy löytyä jotain ulkoista tietoa, jonka perusteella ohjelmistot voivat määrittää mallille mitan. Ulkoinen tieto voi olla paikkatieto tai tunnettu piste, jonka voi tunnistaa kuvasta. Paikkatieto voi olla esimerkiksi GPS:llä saatu. Helpoimmat tavat saada kuviin tunnettuja pisteitä on joko käyttää referenssikappaleita tai referenssipisteitä, jotka mitataan erikseen esimerkiksi takymetrillä. Elomaticin käytössä on Leican TS16 -takymetri, joka on erinomainen työkalu referenssipisteiden hankintaan. Referenssipisteet voivat olla esimerkiksi myös tunnettuja muotoja kuvattavasta kohteesta, joista pystyy määrittämään tunnettuja pisteitä ja mittasuhteita. Referenssikappaleiden hankinta tai teko on yksi tapa saada mallinnettavat kappaleet oikeisiin mittasuhteisiin. Referenssikappaleena voidaan käyttää esimerkiksi levyä, mistä löytyy kolme tunnettua pistettä.

5 Vertailuprosessi

Vertailuprosessissa keskitytään ohjelmistojen ominaisuuksiin, jotka oleellisesti vaikuttavat fotogrammetrian kelpoisuuteen palvelutuotteena. Näitä ominaisuuksia ovat kustannukset, tarkkuus, työmaa-aika, prosessointiaika ja luotettavuus. Työmaa-ajaan voi vaikuttaa esimerkiksi tähykset, joita kuvattavaan kappaleeseen voidaan kiinnittää. Tämä auttaa ohjelmaa tunnistamaan muotoja pinnoista, joista ohjelmisto ei muuten löydä tunnistettavia muotoja, mittakaavan määrittämiseen ja aineiston paikointukseen oikeaan koordinaatistoon. Nämä tähykset voivat olla RAD (Ringed Automati-

cally Detected) -tähyksiä tai shakkiruututähyksiä. Shakkiruututähyksiä voidaan käyttää samalla takymetrin tai laserskannerin tähyksinä, joilla voidaan parantaa kokonais-tarkkuutta huomattavasti.

Opinnäytetyössä vertailtavien ohjelmien vertailtavat ominaisuudet ovat kriittisiä mit-tareita lopputuloksen arvioinnin kannalta. Vertailtavien ominaisuuksien kartoitus on tärkeää, jotta vertailun lopputuloksena on järkeviä ja realistisia arvoja, joita voidaan käyttää johtopäätöksien tekoon luotettavasti. Ohjelmissa käytettävä aineisto tulee olla todenmukaisesti hankittua, jolloin lopputulokset ovat luotettavia myös vertailun ulkopuolella tehtyyn arviointiin. Vertailun tavoitteena on löytää vertailtavista ohjel-mista ominaisuuksia, jotka ovat merkittäviä menetelmän soveltuvuudelle teollisuu-den käyttökohteissa.

5.1 Vertailuaineisto ja sen hankinta

Vertailuaineistot kerättiin kuvaamalla Elomaticin VR-labrassa ja IV (ilmanvaihto)-ti-lassa. VR-labra on avoin tila, joka on tarkoitettu kokoustilaksi ja sitä käytetään Virtual Reality –sovellusten testaukseen, josta tilan nimitys tulee. Tila toimii hyvänä testi- ja harjoittelukohteena, sillä tilassa ei ole paljoa tavaraa, jotka aiheuttaisivat katvealu-eita kuviin. VR-labran lisäksi Elomaticin Jyväskylän konttorin IV-tila kuvattiin ja skan-nattiin vertailuaineistoksi. IV-tilassa sijaitsee konttorin ilmanvaihtoyksikkö ja siellä säilytetään Elomaticin bänditoiminnan tavaraa. Tämä tekee tilasta paljon haastavam-man valokuvausteknisesti ja prosessointiohjelmien käytön kannalta. IV-tilassa on pal-jon erilaisia pintatekstuureita, jotka vaikuttavat valokuvien prosessointiin ja lasers-kannaukseen. Heijastavat pinnat ovat haastavia mitata laserskannerilla. Prosessioh-jelmat eivät välttämättä tunnista heijastavaa pintaa vaan tulkitsevat heijastusta muo-tona. Tästä syystä kiiltäviin pintoihin yleensä sumutetaan kehitettä, joka tekee pin-nasta mattamaisen. Joissakin kohteissa tämä on mahdotonta, joten pinnat pitää talti-oida sellaisenaan.

IV-tila edustaa realistisempaa tilannetta mitattavista kohteista, joten se mitataan myös laserskannerilla. Prosessoinnissa on tarkoitus hyödyntää myös takymetrillä tehtyjä mittauksia ja laserskannauksesta saatuja pistepilviä. Fotogrammetriaprosessointiohjelmat hyödyntävät takymetrillä saatuja koordinaattipisteitä kuvien paikoituksessa ja mallin skaalauksessa. Pelkistä kuvista kootuissa malleissa ei ole mitään informaatiota mitoista ja lopputuloksena on malli, joka on mielivaltaisessa mittakaavassa.

IV-tilan koneikosta otettiin kaksi erilaista skannausta. Ensimmäinen skannaus on kattavampi viiden aseman skannaus, jota käytännössä voitaisiin käyttää suunnittelussa lähtötietona. Toisessa skannauksessa koneikosta otetaan vain yksi skannaus, joka toimii referenssinä valokuville. Kummissakin skannauksissa näkyy takymetrillä mitatut tähykset. Tähyksinä toimii Bentley ContextCapturen QR-kooditähkykset. Tähyksen ulkoasulla ei ole muuta vaatimusta kuin se, että siinä on jokin tunnistettava piste, joka on helposti merkittävässä jälkikäsitelystä kiintopisteeksi.

Laserskannauksista saatu aineisto toimii mittatarkkuuden vertailun referenssinä fotogrammetrialla aikaisiksi saadulle aineistolle. Skannereilla saadut pintamallit ovat luotettavia ja niiden keskimääräinen tarkkuus on tiedossa. Aineistoille tehtiin 3d-muotoanalyysi Geomagic -ohjelmistolla vertailemalla fotogrammetria-aineistoa laserskannausaineistoon.

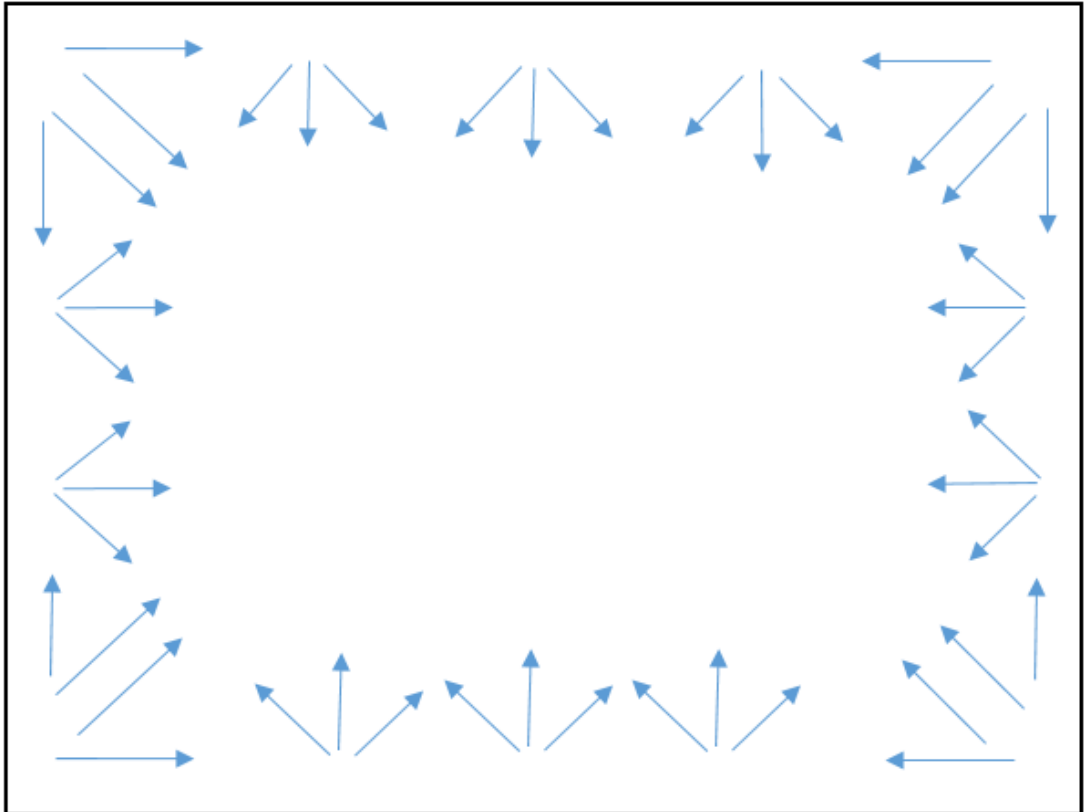
5.1.1 Valokuvauksen toimintasuunnitelma ja toteutus

Vertailuaineisto fotogrammetriamenetelmälle kerätään käyttäen Canonin 5D Mark II -järjestelmäkameraa ja GoPro Fusion 360°-kameraa. VR-labra on neliön muotoinen huone, joten valokuvauksen suhteen eteneminen on suhteellisen yksinkertaista. IV-tila kokonaisuudessaan on todella haastava kuvata fotogrammetriamenetelmillä. Siksi siitä rajataan ilmanvaihtokoneikko, joka itsessään on haastava kohde. Kuviossa 4 IV-tila. Kuviossa 4 näkyvät myös QR-kooditähkykset, jotka mitattiin takymetrillä. Tähyksiä voidaan hyödyntää niin laserskannauksissa kuin valokuvissa.



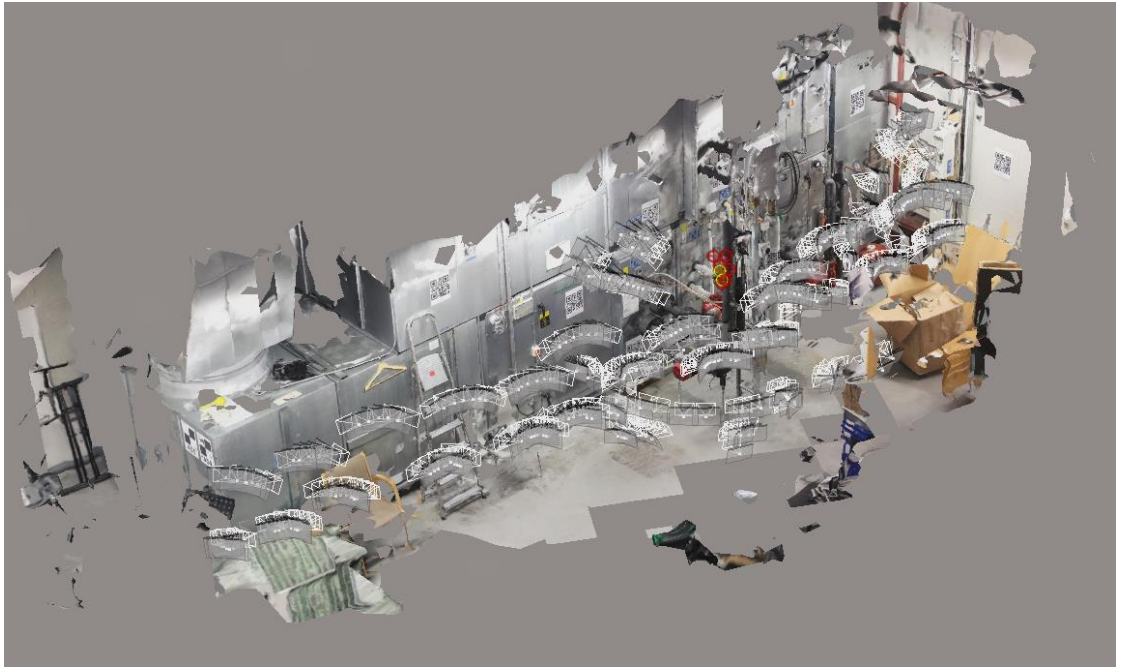
Kuvio 4. IV-tilassa sijaitseva ilmastointikoneikko.

Yksi tapa kuvata neliönmuotoinen VR-labra järjestelmäkameralla on kiertää huonetta ympäri selkä seinän suuntaan ja kamera 90° kulmassa seinän suhteen kuvion 5 mukaisesti. Jokaisessa kuvauspisteessä otetaan kuvat myös noin 45° kulmassa kumpaankin suuntaan, että kuvissa näkyy mahdollisimman paljon samoja piirteitä. Eri kuvien välillä tulee olla overlappingia eli kuvissa tulee näkyä samoja piirteitä mahdollisimman paljon (Upadhyay, 2014). Järjestelmäkameralla tehdään myös useita kierroksia huoneen ympäri ottaen kuvia vähintään kahdelta eri korkeustasolta. Huoneistojen kuvaus 360° kameroilla on teoriassa helpompaa, sillä kuvakulmalla ei ole niinkään merkitystä. Kuvia tulee silti ottaa eri tasoilta, jotta katvealueet saadaan minimoitua ja jälkikäsitellyssä on enemmän kuvakulmia 3d-muotojen muodostamiselle. 360° -kameroiden heikkoutena on huonompi kuvanlaatu ja suurempi vääristymä kuvan reuna-alueilla.



Kuvio 5. Valokuvaussuunnitelma VR-labrassa.

IV-tila kuvattiin samankaltaisella etenemistyyllillä kuin VR-labra. Jokaisella kuvauspisteellä otetaan kuvat useaan eri suuntaan, mikä minimoi katvealueita kuvissa. Erona VR-labran kuvaukseen on se, että tilaa ei voi kiertää mitenkään ympäri, joten paras kuvaustapa tuli määritellä kuvauskohteessa. Kuviossa 6 on esitettyä kuvien ottopaikat. Kuvat on otettu viuhkamaisesti useassa eri kuvauspisteessä. IV-tilassa menevät putkistot kuvattiin paremmin eri kuvakulmista, jotta katvealueita ei olisi niin paljoa ja kuvien välillä olisi hyvin yhteisiä piirteitä.



Kuvio 6. Kuvien ottopaikat esitettynä ContextCapturella generoidussa mallissa.

IV-tila kuvattiin kahdella eri tyylillä. Ensin huone kuvattiin sen omalla valaistuksella. Toisella kerralla huone kuvattiin vain kolmen valopaneelin avulla. Valopaneeleilla yritettiin simuloida realistista tilannetta, jossa kuvauskohteessa on huono valaistus tai, jos kohteessa käytetään vain mukana kuljetettavia valaisimia. IV-tilan katossa sijaitsevat valot valaisevat tilan tasaisesti, eikä tilaan jää paljoakaan varjoja. Valopaneeleilla valaistaessa tilassa oli valonlähteitä vain kolme, joten varjopaikkoja jää tilaan enemmän. Valonlähteet voivat olla myös hankalassa paikassa myös valokuvauksen suhteen. Välillä kuvat pitää ottaa suoraan valonlähteen edestä, jolloin valokuvaaja itse aiheuttaa kuvattavaan tilaan varjon. Tämän takia toimintasuunnitelma tulee olla selvillä ennen valokuvauksen suorittamista.

Kameran asetukset ovat oleellisia kuvauksen aikana. Kuvien valotus tulee olla sopiva, jotta prosessointiohjelmat voivat saada mahdollisimman paljon tietoa irti kuvista. Yli-valottuneet kuvat tarkoittavat sitä, että kuvissa voi olla kohtia, joita ei voi käyttää piirteiden tunnistamiseen. Prosessointiohjelma voi myös tulkita yli-valottuneet kohdat kuvissa piirteiksi. Kameran huippuiterävyysvyvyys vaikuttaa myös kuvien ja mallien laatuun. Mitä syvempi huippuiterävyysalue on, sitä enemmän kuvissa on tarkkoja

muotoja tunnistettavaksi. Isomman huipputerävyysalueen saavuttamiseksi tulee objektiivin aukko pitää mahdollisimman pienenä, joka taas tuo haasteita valovoimakkuudelle. Liian pimeistä kuvista ei myöskään saa kaikkea mahdollista dataa irti. Kameran ISO-herkkyys voi helpottaa pimeässä kuvausta, mutta liian iso ISO-herkkyys tekee kuvista rakeisia, joka taas vaikuttaa suoraan prosessoituun malliin. Liian pitkä valotusaika voi taas johtaa helposti tärähtäneisiin kuviin, joka vaikuttaa prosessoituihin malleihin negatiivisesti. Edellä mainittujen syiden takia tulee kohdetta kuvaavalla henkilöllä olla kokemusta ja tietotaitoa niin valokuvaukseen, kuin fotogrammetriaan perustuviin mallinnusmenetelmiin.

Yleisesti kirkkaampi valaistus on eduksi valokuvaukselle myös fotogrammetriaa ajatellen. Informaatiota on helpompi taltioida, kun kohteessa on kirkas ja tasainen valaistus. Pehmeä ja hyvin diffusoitu valo vähentää teräviä heijastuksia kirkkailta pinoilta ja näin parantaa prosessoituja malleja. Kohteessa näkyvät varjot tulevat näkyviin myös prosessoituihin valoihin. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi malleihin, joita on tarkoitus käyttää visualisointitarkoituksiin esimerkiksi VR-aplikaatioissa. Jos kappaleessa on luonnostaan toinen puoli varjossa, näyttää kappale epäluonnolliselta VR-ympäristössä, jossa valaistus ei ole samankaltainen kuin kappaleen alkuperäisessä kuvausympäristössä. Kuviossa 7 IV-tila valaistuna tilan omilla valoilla ja kuviossa 8 sama tila valopaneeleilla valaistuna. Kuviossa 8 näkyy, kuinka erilaiselta huone näyttää varjojen takia.



Kuvio 7. IV-tila valaistuna tilan normaalilla valaistuksella



Kuvio 8. IV-tila valaistuna pelkillä valopaneeleilla.

5.1.2 Valokuvauskalusto

Canon järjestelmäkamerassa on käytössä Sigman 35mm f1.8 -objektiivi, mikä on sopivan laaja ja laadukas objektiivi vähäisellä optisella vääristymällä. 35mm -objektiivin lisäksi on käytössä Sigma 15mm f/2.8 fisheye -objektiivi. Kalansilmäobjektiiveilla vääristymää tulee enemmän, mutta prosessointiohjelmat pystyvät kompensoimaan vääristymää. Kalansilmäobjektiivit ovat hyviä ahtaissa tiloissa, jossa etäisyyttä kuvattavaan kohteeseen on alle metri. Oletuksena on, että mitä vähemmän objektiivissa on vääristymää, sitä parempi ja tarkempi mallista tulee prosessoinnissa.

5.2 Ohjelmistojen vertailu

Ohjelmistojen testauksessa kirjattiin ylös prosessointiaikoja ja ohjelmista saatuja malleja verrattiin laserskannauksella tehtyihin malleihin Geomagic Qualify -ohjelmalla. Osa ohjelmista tippui pois vertailussa jo aikaisessa vaiheessa vajanaisten ominaisuuksien tai ohjelmilla tehtyjen mallien huonon laadun vuoksi. Vertailussa olevien ohjelmien hintoja, tuloksia ja prosessointiaikoja kerättiin salassa pidettävän liitteen 1 taulukkoon. Ohjelmista ulos vietävät tiedostoformaatit kerättiin taulukkoon 1. Ohjelmistojen vertailu salassa pidettävässä liitteessä 3.

Taulukko 1. Ohjelmista ulos vietävät tiedostoformaatit.

Ohjelma	Agisoft	Bentley ContextCapture	RealityCapture	Pix4D	Skannaus Farolla (Scene)
Tiedostotformaatit mesh pistepilvi	Meshit: OBJ 3DS VRML COLLADA Stanford PLY X3D STL Alembic Autodesk FBX Autodesk DXF Polyline Autodesk DXF 3DFace OpenSceneGraph Binary glTF U3D Adobe PDF(?) Google Earth KMZ Pistepilvet: OBJ Stanford PLY XYZ ASPRS LAS LAZ ASTM e57 Topcon CL3 ASCII PTS Autodesk DXF U3D Adope PDF potree Cesium 3D Tiles Agisoft OC3	Meshit: 3MX (Bentley native) 3SM (Bentley native) Cesium 3d tiles Bentley DGN format FBX OBJ Collada (DAE) STL LOD tree export Smart3dCapture S3C OpenSceneGraph binary (OSGB) SpacEyes3D Builder layer Pistepilvet: ASPRS LASer (LAS) Pointools POD file format Muut: Othophoto/DSM	Meshit: OBJ List of visible parts Just textures FBX DXF DAE BVH HTR TRC ASF AMC C3d AOA MCD Pistepilvet: XYZ (pistepilvi) Pistepilvet: PLY XYZ	Meshit: OBJ FBX DXF DXF (polylines) PLY PDF OSGB SLPK Pistepilvet: LAS LAZ PLY	Pelkästään pistepilviä: E57 VRML DXF XYZ Ascii XYZ Binary IGES PTS PTX Pointools POD SCENE Scan File (fls) CPE Projektina: SCENE Project (Isproj) ReCap Project (rcp)

5.3 Fotogrammetria vs. laserskannaus

Kahden eri menetelmän vertailun välillä keskityttiin olennaisiin ominaisuuksiin, eli niihin, mitkä vaikuttavat merkittävästi menetelmien tuotteistamiseen. Työmaalla vaadittu aika on oleellinen osa mittauksista. Joissakin kohteissa voi olla vain rajallinen aika työkohteessa työskentelyyn, eli mittauksen tai valokuvauksen tulee olla ripeää. Kohteessa vaadittu työaika antaa myös arviota siitä, kuinka paljon kohdetta voidaan taltioida päivässä. On tärkeää tietää menetelmien vaatimat ajankäytölliset rajoitukset ennen tarjouslaskentaa. Työmaa-ajan lisäksi on tärkeää määrittää jälkikäsitteilyyn vaadittu aika. Aika fotogrammetria-aineiston jälkikäsitteilyyn riippuu aineiston laadusta ja laajuudesta. Tarkkuus on erityisesti teollisuudessa oleellinen osa fotogrammetrian mittaus- ja mallinnusmenetelmien kannattavuutta. Teollisuuden kohteet tulee mitata yleensä erittäin tarkasti, jotta suunnittelun riskit ovat minimaaliset ja lähtötiedot ovat luotettavat. Visuaalisuus voi myös olla tärkeä osa suunnittelua. Fotogrammetriamenetelmien etuina ovat visuaalisesti näyttävät mallit. Teksturoitu pinta näyttää visuaalisesti aidolta, vaikka mallin pinta ei oikeasti olisi edes prosessoitunut tasaiseksi tai aidonmukaiseksi. Menetelmillä on kummallakin rajoituksensa ja niitä

voidaan soveltaa tilanteesta riippuen. On myös oleellista, että fotogrammetriamenetelmillä prosessoidut mallit saadaan oikeisiin tiedostoformaatteihin. Laserskannauksen ja fotogrammetrian välinen vertailu salassa pidettävässä liitteessä 4.

6 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää fotogrammetriamenetelmien soveltuvuutta kone- ja laitossuunnittelun lähtötietojen hankintakeinona. Lyhyesti sanottuna fotogrammetriaa voidaan hyvin käyttää myös sisätilojen ja kappaleiden taltiointiin, jos laserskannausta heikompi tarkkuus riittää kyseiseen tilaan ja suunnittelutarpeisiin.

6.1 Fotogrammetrian edut ja haasteet

Kappale salassa pidettävässä liitteessä 5.

6.2 Vertailun lopputulokset

Kappale salassa pidettävässä liitteessä 6.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön kulku oli työn laadun ja onnistumisen kannalta hyvä. Bentley ContextCapturen kanssa oli aluksi ongelmia kokeiluversion saamisessa. Jos, kokeiluvärsiota ei olisi saatu, olisivat opinnäytetyön tulokset voineet olla erilaiset ja tämän kautta myös opinnäytetyön hyöty Elomaticille. Elomaticin kannalta opinnäytetyö oli arvokas kehitysprojekti. Fotogrammetria on jatkuvasti kehittyvä teknologia ja tulevaisuudessa sen käyttö yleistyy varmasti. Laskentatehon ja ohjelmistojen kehityksen myötä saadaan prosessoitua tehokkaammin malleja ja laatukin paranee. Toimeksiantajan näkökulmasta on siis tärkeää pysyä aallonharjalla mittauspalveluiden palveluntarjoajana. Lisäarvoa opinnäytetyölle olisi tuonut

fotogrammetrian testaus asiakasprojektissa. Vaikka IV-tila imitoi hyvin teollisuuden kohteita, on se silti entisistä testauksista tunnettu tila. Asiakasprojekteissa tulee usein vastaan erikoisia ongelmia, joita tulee ratkoa paikanpäällä.

Vaikka vertailussa käytetty valokuvausaineisto oli kattava ja teollisuuden mittakohteita matkiva, olisi testauksia voitu tehdä käyttämällä useita eri kameroita. Ajanpuutteen vuoksi kokeilut puhelimien kameroilla ja 360°-kameroilla jäivät vähäiseksi, eikä niistä saatuja aineistoja otettu mukaan vertailuun. Tulevaisuuden kehitysprojekteissa juuri näitä tutkitaan ja arvioidaan. GoPron kaltaiset actionkamerat ovat edullisia ja niitä on helppo kuljettaa mukana, joten niiden käyttöä on myös järkevä tutkia lisää. Kamerateknologia kehittyy jatkuvasti, joten uusien järjestelmäkameroiden ja linssien tutkiminen ja kokeileminen on tulevaisuudessa myös kannattavaa.

Lähteet

Agisoft kotisivut. N.D.. Viitattu 11.2.2019.

<https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>.

Battiato S., Di Giore G., Ortis A., Rundo F.. 2013. Adaptive Compression of Stereoscopic Images. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Boehm J., Kyle S., Luhmann T., Robson S. 2013. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. 2. painos. De Gruyter, Inc.

Brown K., Hamilton A. 2016. Photogrammetry and Star Wars Battlefront. Viitattu 8.5.2019. <https://www.ea.com/frostbite/news/photogrammetry-and-star-wars-battlefront>

Huber D. 2011. The ASTM E57 File Format for 3D Imaging Data Exchange. Asiakirja. Electronics Imaging Science and Technology Conference (IS&T), 3D Imaging Metrology, Vol. 7864A.

Hylkykuvausohje. N.d. Museovirasto. Viitattu 8.5.2019.

<https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/arkeologinen-kulttuuriperinto/vedenalainen-kulttuuriperinto/hylkykuvausohje>

Indoor mapping game plan. 2017. Pix4D. Viitattu 5.2.2019.

<https://www.pix4d.com/blog/indoor-mapping-game-plan>.

Mustonen A.. 2019. Kauppalehti. Viitattu 16.1.2019.

<https://www.kauppalehti.fi/uutiset/elomatic-kasvu-nakyi-erityisen-reippaasti-tytaryhtiossa-kaikkiaan-erinomainen-vuosi-kasvun-ja-tuloksenkin-osalta/2411d039-665c-4d6d-8bde-48924606b32c>.

Royal air force: Central interpretation unit / Allied central interpretation unit, 1941-1945. N.d. Imperial War Museum, IWM Non Commercial Licence. Viitattu 2.3.2019.

<https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/205196665>

Upadhyay N. 2014. Basics of Photogrammetry. Gisresources. Viitattu 10.5.2019.

http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/

What is photogrammetry? N.d. Unity. Viitattu 8.5.2019.

<https://unity.com/solutions/photogrammetry>

Liitteet

Liite 1. Vertailutaulukko, jossa esitetään ohjelmien vertailtavat ominaisuudet. (Salassa pidettävä.)

Liite 2. Ohjelmistojen vertailu. (Salassa pidettävä.)

Liite 3. Fotogrammetrian ja laserskannauksen vertailu. (Salassa pidettävä.)

Liite 4. Fotogrammetrian edut ja haasteet. (Salassa pidettävä.)

Liite 5. Vertailun lopputulokset. (Salassa pidettävä.)