



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

FOTOGRAMMETRIAN HYÖDYNTÄMINEN MIEHITTÄMÄTTÖMILLÄ ILMA-ALUKSILLA

Valtteri Herrala

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2018
Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka

HERRALA, VALTTERI:

Fotogrammetrian hyödyntäminen miehittämättömillä ilma-aluksilla

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 27 sivua
Kesäkuu 2018

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää fotogrammetrian hyödyntämistä miehittämättömillä ilma-aluksilla. Työssä keskityttiin kustannustehokkaiden multikoptereiden hyödyntämiseen. Opinnäytetyön aihe muodostui tarpeesta luoda Tampereen ammattikorkeakoululle tapa hyödyntää multikopteria 3d-mallintamisessa sekä Kiwa Inspectan tarpeesta selvittää kustannustehokkaan multikopterin hyödyntämistä tarkastustoiminnassa. Tutkimusmenetelmänä käytettiin käytännönkokeiden suorittamista hyödyntämällä kaupallisia multikoptereita. Fotogrammetriaohjelmistoina käytettiin kolmea eri ohjelmaa.

Kokeiden edetessä opinnäytetyössä saatiin aikaan visuaalisesti käyttökelpoisia 3d-malleja. Lopuksi suoritettiin kenttäkokeena siltatarkastusmallinnuksia Lahdessa.

Opinnäytetyön tulosten perusteella kustannustehokasta multikopteria voidaan hyödyntää varsin hyvin mallinnustehtävissä. Kehityskohteenä on tarkkuuden parantaminen, maatarkastuspisteiden hyödyntäminen ja skaalausmittavälineiden hyödyntäminen.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering
Aeronautical Engineering

HERRALA, VALTTERI:

Utilization of Photogrammetry in Unmanned Aircraft

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 27 pages
June 2018

The purpose of this thesis was to investigate the utilization of photogrammetry in unmanned aircraft. The thesis focused on the utilization of cost-efficient multicopter. The topic of the Bachelor's Thesis was the need to create a multi-faceted model for 3D modeling at Tampere University of Technology and Kiwa Inspecta's need to find out how to use a cost-effective multicopter in inspections. The test method involved running practice tests by utilizing commercial multicopters. Three different programs were used as photogrammetry software.

As experiments progressed, they yielded visually useful 3D models. Lastly, a field test was carried out on bridge inspections in Lahti.

Based on the thesis, a cost-effective multicopter can be utilized quite well in modeling tasks. Development is focused on improving accuracy, utilizing use of ground control points and scaling measurement tools.

Key words: photogrammetry, multicopter, 3d model, inspection

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIA	6
2.1	Fotogrammetria.....	6
2.1.1	Kuvien ottamisessa huomioitavia asioita.....	6
2.1.2	Kamerasäädöt.....	9
2.2	Multikopteri	10
2.2.1	Multikopterin pääosat.....	11
2.2.2	Eri multikoptereiden suurimmat eroavaisuudet.....	12
3	KOEMALLINNUKSET	17
3.1	Ulkotilamallinnukset.....	17
3.1.1	Puusilta.....	17
3.1.2	Katsomo	18
3.1.3	Vesisäiliö.....	19
3.2	Sisätilamallinnus	20
4	SILTAMALLINNUS	23
4.1	Kenttäkokeet Lahdessa, Agisoft Photoscan	23
4.2	Kenttäkokeet Lahdessa, Autodesk Recap Photo.....	28
5	POHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	34
	Liite 1. Pix4d laaturaportti.....	34
	Liite 2. Agisoft Photoscan laaturaportti	42
	Liite 3. Autodesk Recap Photo laaturaportti	54
	Liite 4. Agisoft Photoscan pikaohje	56

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimivat Kiwa Inspecta ja Tampereen ammattikorkeakoulu. Työn tavoitteena oli selvittää, miten saadaan 3d malli esimerkiksi sillasta tai vesitornista, käyttäen kustannustehokasta multikopteria ja nykyaikaisia fotogrammetriaohjelmistoja. Lisäksi tavoitteena oli tehdä Tampereen ammattikorkeakoululle selkokielen pikaohje Agisoft Photoscan ohjelmistolle. Työssä hyödynnettiin kahta eri multikopteria, tarkoituksena saada selville, voidaanko kyseisen kokoluokan (alle 2kg) multikoptereilla saada aikaan kelvollisia mallinnuksia.

Tässä opinnäytetyössä tutkimus keskittyy käytännönkokein saatavaan tietoon. Kenttäkokeita suoritettiin aluksi DJI Phantom 3 Standard multikopterilla Espoossa ja Tampereella. Lopuksi uudemmalla DJI Phantom 4 Pro multikopterilla tehtiin kenttäkokeita Lahdessa, siltatarkastuskohteissa viidellä eri sillalla.

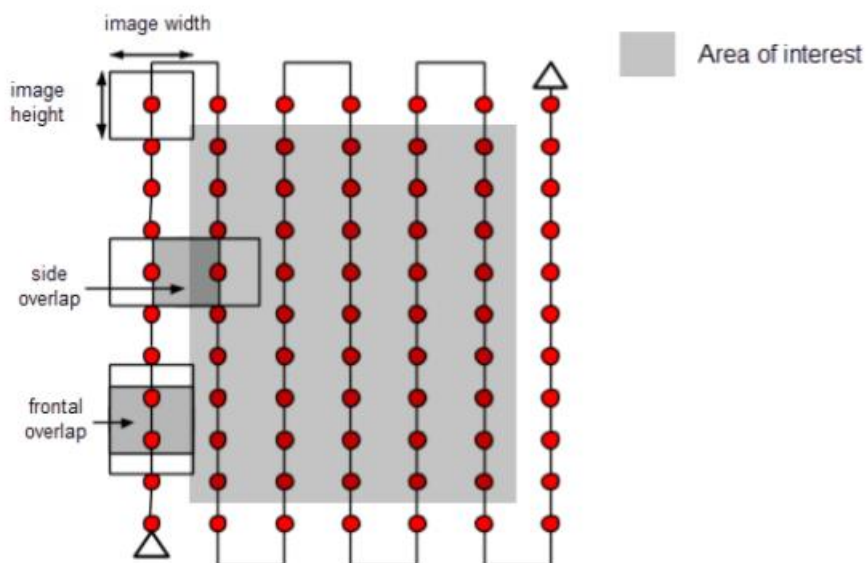
2 TEORIA

2.1 Fotogrammetria

Mitä fotogrammetria on? Fotogrammetriassa käytetään menetelmiä, joilla voidaan määrittää sijainti, muoto ja koko kohteelle, kuvista mittaamalla. Lyhyesti sanottuna fotogrammetriassa etsitään kuvan ja kuvattavan kohteen välisiä vastaavuuksia. Fotogrammetrian historia ulottuu yhtä varhaisiin vuosiin kuin valokuvauksen alkaminen. Itse asiassa varhaisimpana vaiheena, tutki Leonardo da Vinci keskusprojektiokuvausta niin kutsutulla neulanreikäkameralla, jo ennen valokuvauksen alkamista. (Salmenperä 2004, 5)

2.1.1 Kuvien ottamisessa huomioitavia asioita

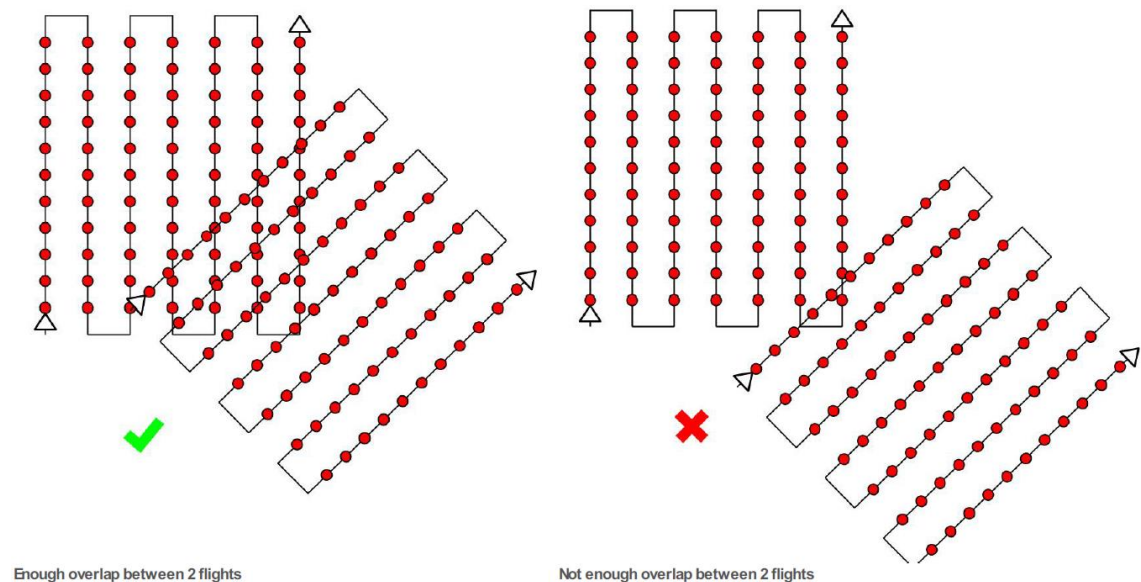
Tärkein asia valokuvien ottamisessa on, että valokuvilla on riittävän paljon päällekkäisyyttä, eli valokuvat otetaan sopivasti limittäin. Alla olevassa kuvassa 1 havainnollistetaan ilmakuvien ottamista ja limittymistä (overlap). Keskellä näkyy harmaana varsinainen mallinnettava alue. (Pix4dmapper user manual, 2017)



KUVA 1. Kuvien limittyminen (Pix4dmapper user manual, 2017)

Pituussuunnassa limittyminen on hyvä olla vähintään 75% ja leveysuunnassa 60%. Mikäli kuvattavalla alueella on huomattavasti puustoa ja tiheää kasvillisuutta, on syytä lisätä limittyminen 85% tasolle pitkittäissuunnassa ja 70% tasolle leveysuunnassa. Tämä johtuu siitä, että kasvustot sisältävät runsaasti fotogrammetrian kannalta hankalia kohtia, jolloin sidospisteiden määrittely vaikeutuu. Limittymisen lisäksi lentokorkeuden lisäys helpottaa onnistuneeseen mallinnukseen pääsemistä, korkeampi lentokorkeus vähentää muun muassa perspektiivin vääristymää. (Pix4dmapper user manual, 2017)

Mikäli mallinnettava alue on suuri ja joudutaan lentämään useampi lento, on huolehdittava, että myös lennot limittyvät keskenään riittävästi, kuten kuvissa 2 ja 3 nähdään. Muuten mallinnuksien yhdistäminen vaikeutuu huomattavasti. (Pix4dmapper user manual, 2017)

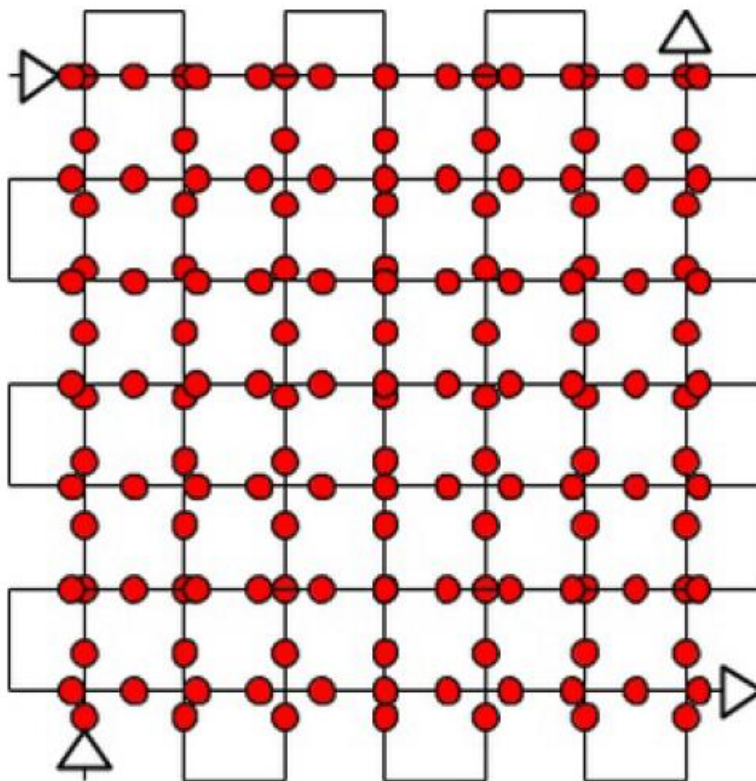


KUVA 2. Lentojen limittyminen (Pix4dmapper user manual, 2017)



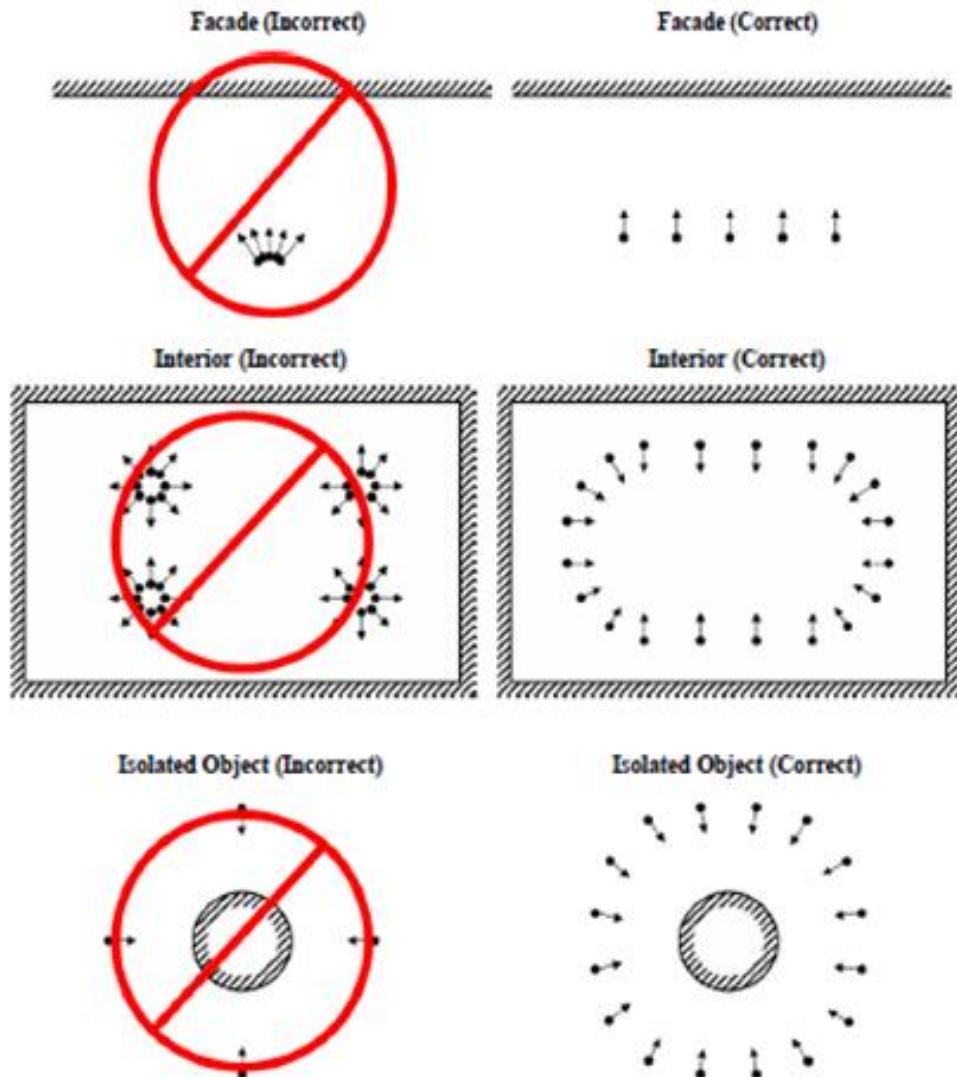
KUVA 3. Havainnekuva lentojen liittymisestä (Pix4dmapper user manual, 2017)

Kun halutaan mallintaa esimerkiksi kaupunkiympäristöä, jossa on paljon rakennuksia ja kohde pitää saada mallinnettua joka suunnasta, on syytä käyttää lentosuunnitelmana niin sanottua tuplaristikkoa. Kuvassa 4 havainnollistetaan järjevä lentosuunnitelma kyseiselle mallinnustehtävälle. (Pix4dmapper user manual, 2017.)



KUVA 4. Tuplaristikko lentosuunnitelma (Pix4dmapper user manual, 2017)

Mallinnettavaa kohdetta kuvatessa, älä pysy paikallaan ja kääntele kameraa kuvaten kohdetta, vaan liiku kameran mukana ja ota riittävä määrä limittäin otettuja kuvia. Ota mieluiten liian paljon kuvia kuin liian vähän. Ylimääräiset kuvat ovat aina helppo karsia. Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty oikeanlaiset kuvaussuunnat. (Agisoft Photoscan user manual, 2018)



KUVA 5. Oikeat kuvaussuunnat (Agisoft Photoscan user manual, 2018)

2.1.2 Kameranäädöt

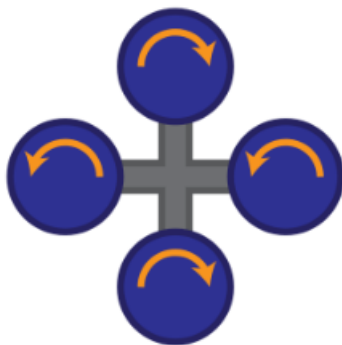
Ohjelmistojen suorittaman mallinnuksen onnistumisen takaamiseksi, on kiinnitettävä huomiota seuraaviin asioihin. Kuvanvakautus on oltava ehdottomasti poiskytkettynä. Tätä opinnäytetyötä tehdessä kuvanvakautuksen aiheuttama ongelma tuli todennettua

kokeiluissa, joissa matkapuhelimen kameralla otetuista kuvista kokeilin muodostaa 3d mallia. Agisoft Photoscan ja Pix4d Mapper onnistuivat kalibroimaan kaikkein vähiten kuvia ja malleista tuli huonoja, mikäli ohjelma ylipäättänsä pystyi laskemaan mallia. Autodesk Recap Photo sen sijaan onnistui myös kännykällä otetuista kuvista tekemään mallin, joskin kyseiselläkin ohjelmalla oli hankaluuksia kalibroida kuvia.

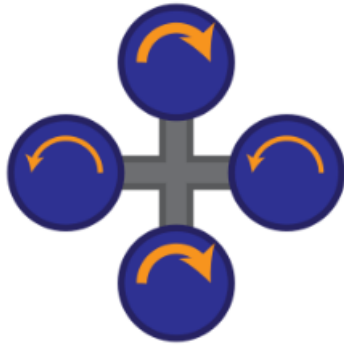
Polttovälin on oltava kiinteä. Sulkija, aukko ja ISO-herkkyys on hyvä pitää automaattiasennossa. On tärkeää huolehtia, että kuvat ovat mahdollisimman kohinattomia ja tarkkoja. (Pix4dmapper user manual, 2017)

2.2 Multikopteri

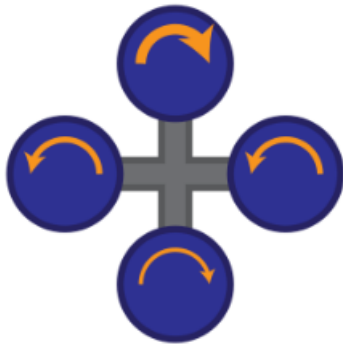
Multikopterissa on kaksi paria vastakkain pyöriviä potkureita. Leijunnassa ja korkeutta muuttaessa, säädetään jokaisen moottorin tehoasetusta samanaikaisesti ja yhtä paljon (kuva 6). Kun halutaan tehdä suunnanmuutos multikopterin pysty akselin suhteen, pyöritetään toista paria potkureista nopeammin kuin vastakkaiseen suuntaan pyöriviä potkureita (kuva 7). Eteenpäin lennossa lisätään taaimmaisten potkureiden pyörimisnopeutta ja vähennetään etummaisten potkureiden pyörimisnopeutta. Taaksepäin lennossa vastaavasti lisätään etummaisten potkureiden pyörimisnopeutta ja vähennetään takimmaisten potkureiden pyörimisnopeutta. Kuvassa 8 havainnollistetaan pituus ja poikittaisakselin suhteen kiertymistä. (Wikipedia, 2018)



KUVA 6. Leijunta ja korkeuden muutos (Wikipedia, 2018)



KUVA 7. Suunnanmuutos (Wikipedia, 2018)



KUVA 8. Kallistus (Wikipedia, 2018)

2.2.1 Multikopterin pääosat

Multikopterin tärkein osa on lentotietokone, johon kiinnittyvät monenlaiset sensorit. Näihin kuuluvat muun muassa IMU (inertial measurement unit), kompassi ja GPS-moduli (Global positioning system). Näiden lisäksi lentotietokoneeseen kytkeytyvät moottoreiden nopeudensäätimet, jotka edelleen kytkeytyvät moottoreihin. Virtansa multikopteri saa ajoakuista, jotka yleisimmin ovat litiumpolymeeriakkuja. Kamera on varustettuna gimbaalilla, joka mahdollistaa kameran stabiloinnin kolmen akselin suhteen. (Dronezon, 2018)

2.2.2 Eri multikoptereiden suurimmat eroavaisuudet

Voidaan todeta, että tämän opinnäytetyön kannalta suurimmat eroavaisuudet liittyvät työssä käytettyjen multikoptereiden kameroihin. Käytännössä suurin vaikutus on siihen, kuinka lähellä kohdetta pitää lentää ja ottaa kuvat, jotta saadaan yhtä tarkka malli. Mitä paremmalla kameralla multikopteri on varustettu, sen korkeammalla/etäämmällä kohteesta voidaan lentää.

GSD (Ground sampling distance) tarkoittaa pikselien välistä etäisyyttä maastossa, lennettynä tietyllä korkeudella. Jos GSD:n arvoksi otetaan 1,01cm/pikseli, pitää Phantom 3 standardilla (kuva 9) lentää 23 metrin korkeudella. Lentokorkeuden laskemiseen käytetyt arvot otettiin Pix4d Mapper ohjelman kameratietopankista. (kuva 10) Lentokorkeus on laskettu kuvassa 11 näkyvällä GSD laskurilla. (Pix4d, 2018; Propeller Aero, 2018)



KUVA 9. Phantom 3 Standard

Camera Model Name: Edit

Camera Model Bands
Bands:


Camera Model Parameters

Warning: Wrong parameters can cause failure in the reconstruction. Read the Help for more information.

Perspective Lens Fisheye Lens Shutter Model:

<input type="radio"/> Image Width [pixel]:	<input type="text" value="4000"/>	<input type="radio"/> Sensor Width [mm]:	<input type="text" value="6.31748"/>
Image Height [pixel]:	<input type="text" value="3000"/>	Sensor Height [mm]:	<input type="text" value="4.73811"/>
Focal Length [pixel]:	<input type="text" value="2285.72"/>	Pixel Size [μm]:	<input type="text" value="1.57937"/>
Principal Point x [pixel]:	<input type="text" value="2000.01"/>	Focal Length [mm]:	<input type="text" value="3.61"/>
Principal Point y [pixel]:	<input type="text" value="1500"/>	Principal Point x [mm]:	<input type="text" value="3.15875"/>
		Principal Point y [mm]:	<input type="text" value="2.36906"/>

KUVA 10. Phantom 3 standard kameran arvot (Pix4d)



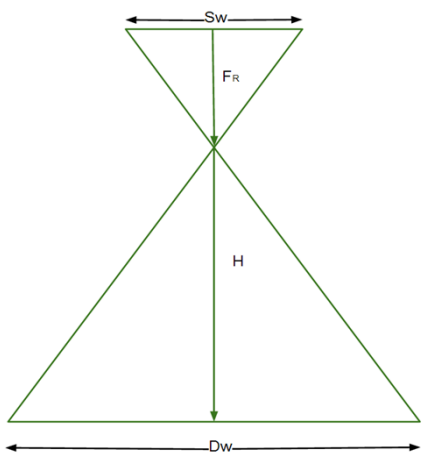
GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR

Instructions

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell **C14**
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell **C15** (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell **C16**
4. Enter the Image Width (pixels) in cell **C17**
5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell **C18**
6. Hit Enter

Calculator	
Sw	6,31748 = the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	3,61 = the focal length of the camera (millimeters)
H	23 = the flight height (meters)
imW	4000 = the image width (pixels)
imH	3000 = the image height (pixels)
GSD	1,01 = Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	40 = width of single image footprint on the ground (meters)
DH	30 = height of single image footprint on the ground (meters)

Phantom 3 Standard



Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

www.pix4d.com

KUVA 11. Phantom 3 standard GSD (Laskurin lähde: Pix4d support)

Vastaavasti Phantom 4 pro:lla (kuva 12) voidaan lentää 37 metrin korkeudella. Lentokorkeuden laskemiseen käytetyt arvot otettiin Pix4d Mapper ohjelman kameratietopankista (kuva 13). Lentokorkeus on laskettu kuvassa 14 näkyvällä GSD laskurilla.



KUVA 12. Phantom 4 Pro

Camera Model Name:

Camera Model Bands
Bands:

Camera Model Parameters

Warning: Wrong parameters can cause failure in the reconstruction. Read the Help for more information.

Perspective Lens Fisheye Lens Shutter Model:

<input type="radio"/> Image Width [pixel]:	<input type="text" value="5472"/>	<input type="radio"/> Sensor Width [mm]:	<input type="text" value="12.8333"/>
Image Height [pixel]:	<input type="text" value="3648"/>	Sensor Height [mm]:	<input type="text" value="8.55554"/>
Focal Length [pixel]:	<input type="text" value="3668.76"/>	Pixel Size [µm]:	<input type="text" value="2.34527"/>
Principal Point x [pixel]:	<input type="text" value="2736"/>	Focal Length [mm]:	<input type="text" value="8.60423"/>
Principal Point y [pixel]:	<input type="text" value="1824"/>	Principal Point x [mm]:	<input type="text" value="6.41666"/>
		Principal Point y [mm]:	<input type="text" value="4.27777"/>

KUVA 13. Phantom 4 Pro kameran arvot (Pix4d)

Calculator		
Sw	12,8333	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	8,60423	= the focal length of the camera (millimeters)
H	37	= the flight height (meters)
imW	5472	= the image width (pixels)
imH	3648	= the image height (pixels)
GSD	1,01	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	55	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	37	= height of single image footprint on the ground (meters)

Phantom 4 pro

KUVA 14. Phantom 4 Pro GSD (Laskurin lähde: Pix4d support)

Vertailun vuoksi, Videodrone X4S (kuva 15) multikopterilla voidaan lentää 75 metrin korkeudella. Myös tässä tapauksessa, korkeus laskettiin käyttämällä Pix4d Mapper ohjelman kameratietopankin (kuva 16) arvoja kyseiselle kameralle. Lentokorkeus on laskettu kuvassa 17 näkyvällä GSD laskurilla.



KUVA 15. Videodrone X4S

Camera Model Name:	DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304			Edit
Camera Model Bands	Bands: RGB			
Camera Model Parameters	<input type="button" value="Clear"/> <input type="button" value="Estimate from EXIF"/> <input type="button" value="Load Optimized Parameters"/>			
Warning: Wrong parameters can cause failure in the reconstruction. Read the Help for more information.				
<input checked="" type="radio"/> Perspective Lens	<input type="radio"/> Fisheye Lens	Shutter Model: Global Shutter or Fast		
<input type="radio"/> Image Width [pixel]:	7952	<input type="radio"/> Sensor Width [mm]:	35	
Image Height [pixel]:	5304	Sensor Height [mm]:	23.3451	
		Pixel Size [µm]:	4.40141	
Focal Length [pixel]:	7451.23	Focal Length [mm]:	32.7959	
Principal Point x [pixel]:	3949.28	Principal Point x [mm]:	17.3824	
Principal Point y [pixel]:	2642.93	Principal Point y [mm]:	11.6326	

KUVA 16. Videodrone X4S kameran arvot (Pix4d)

Calculator		
Sw	35	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	32,7959	= the focal length of the camera (millimeters)
H	75	= the flight height (meters)
imW	7952	= the image width (pixels)
imH	5304	= the image height (pixels)
GSD	1,01	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	80	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	53	= height of single image footprint on the ground (meters)

Alagimbal Videodrone

KUVA 17. Videodrone X4S GSD (Laskurin lähde: Pix4d support)

GSD on oleellinen vaikuttava asia mallin tarkkuuteen. Kohteesta tehty mallinnus ei voi olla tarkempi kuin GSD. Mikäli halutaan mitata esimerkiksi 10cm pituinen todellinen kohde, on GSD:n syytä olla korkeintaan 5 cm/pikseli. (Propeller Aero, 2018)

Nyrkkisääntönä:

1. Lennätä riittävän lähellä kohdetta, jotta GSD pysyy pienempänä kuin vaadittava mittaustarkkuus.
2. Lennätä riittävän korkealla, jotta otettujen kuvien määrä pysyy kohtuullisena. (Propeller Aero, 2018)

Toinen vaikuttava tekijä on lentoaika. Phantom 3 standardilla tuli lennettyä n. 20min lentoja. Phantom 4 pro multikopterilla puolestaan tuli lennettyä noin 25min lentoja (valmistaja lupaa maksimissaan 30 min.). Vertailun vuoksi, Videodrone X4S kykenee n. 45 min lentoaikaan (valmistaja lupaa maksimissaan 45 min tavallisella akulla ja tehoakulla maksimissaan 66 min.). Kolmas vaikuttava tekijä on radiokantama, joka Phantom 3 standard multikopterissa on huono ja häiriöaltis. Lisäksi tätä työtä tehdessä Phantom 3 standard kopterissa oli joko päivityksen myötä tullut ohjelmistovika tai fyysinen kosketushäiriö antennissa, jolloin yhteysongelmia tuli liiaksi asti. Phantom 4pro mallissa lähetystekniikka on parempi, eikä kyseisellä multikopterilla esiintynyt radiohäiriöitä kertaakaan kenttäkokeissa. (DJI, 2018; Videodrone, 2018)

3 KOEMALLINNUKSET

3.1 Ulkotilamallinnukset

Ulkotilamallinnukset suoritettiin Espoon Leppävaarassa ja Tampereen Kaupissa sijaitsevista kohteista. Kuvauksopterina käytettiin Phantom 3 standard multikopteria.

3.1.1 Puusilta

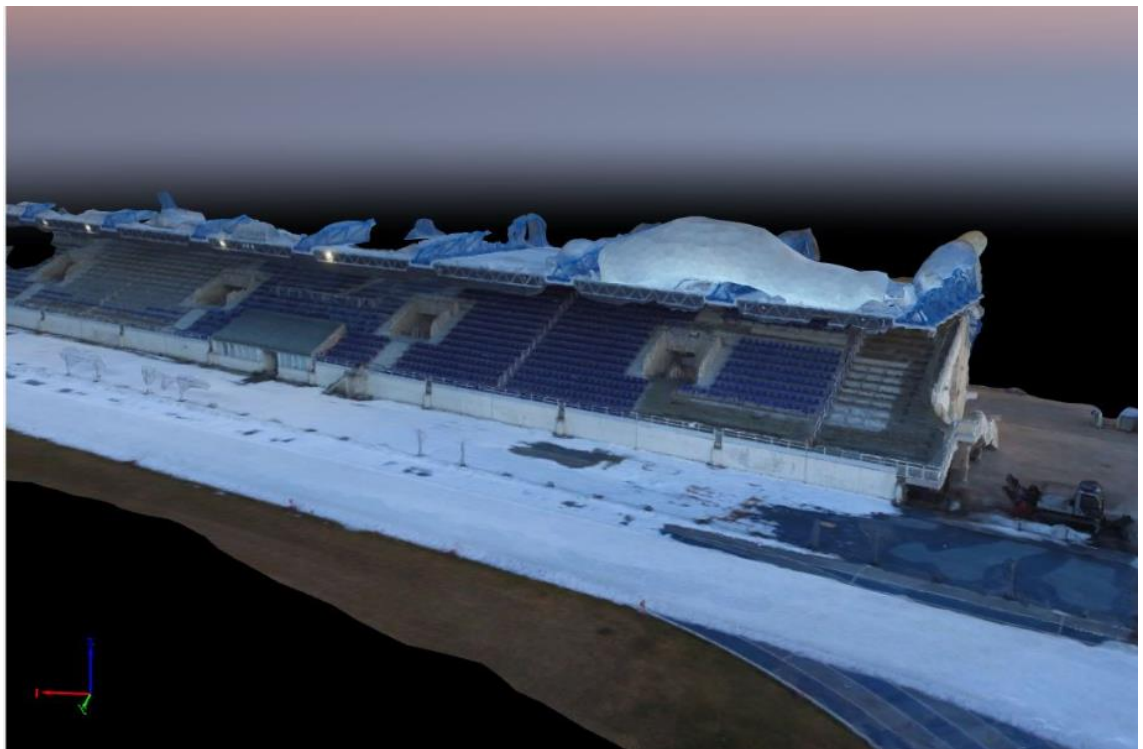
Ensimmäinen multikopterilla tehty mallinnus tehtiin Espoon Leppävaarassa pellolla sijaitsevasta puusillasta. Kuvauksessa tuli havaittua ongelmia, sillä radioyhteys pätki ohjaimen ja kopterin välillä toistuvasti. Tämä hankaloitti huomattavasti kuvausta, kun kopteriin ei ollut luottamista. Vaikeuksista huolimatta, kuvamateriaalista joka sisälsi 80 kuvaa, sai muodostettua kelvollisen 3d-mallin (kuva 18), joka rohkaisi jatkamaan työtä kyseisellä multikopterilla.



KUVA 18. Pix4d ohjelmalla mallinnettu puusilta

3.1.2 Katsomo

Seuraavana vuorossa oli Espoon Leppävaarassa sijaitsevan urheilukeskuksen katsomon koemallinnus. Kyseinen katsomorakennus on varsin haastava mallinnuskohde, sillä katorakenteissa olevat tukiristikot ovat maalattu kiiltäväpintaisella maalilla, joten rakenteet olivat herkkiä heijastamaan valoa. Alla oleva (kuva 19) Pix4d ohjelmistolla mallinnettu katsomorakennus on mallinnettu matalan resoluution asetuksilla. Myös korkealla resoluutiolla tuli mallinnettua mutta kyseisessä mallinnuksessa (kuva 20) kohina kasvoi niin suureksi, ettei ajan säästämiseksi ollut iloa käydä siivoamaan mallia.



KUVA 19. Pix4d ohjelmalla mallinnettu katsomorakennus



KUVA 20. Pix4d ohjelmalla mallinnettu katsomo, kohinaa

3.1.3 Vesisäiliö

Viimeinen testimallinnus Phantom 3 std:n kuvista tuli tehtyä Tampereen Kaupissa sijaitsevasta vanhasta vesisäiliöstä (kuva 21). Kuvia otettiin 204 kappaletta. Yhteysongelmat piinasivat edelleen, joten kuvat olivat hankala ottaa. Riittävän hyvät kuvat sain kuitenkin otetuksi ja mallista tuli hyvä. Vesisäiliön mallinnuksen laaturaportti löytyy liitteestä 1. Tämä jäi viimeiseksi ulkotila testimallinnukseksi Phantom 3 standard multi-kopterilla, sillä yhteysongelmien vuoksi ei ollut mielekäästä enää jatkaa kyseisellä kopterilla kuvailua. Oli aika vaihtaa parempaan kopteriin.



KUVA 21. Pix4d ohjelmalla mallinnettu vesisäiliö

3.2 Sisätilamallinnus

Tässä työssä tuli kokeiltua hieman myös sisätilamallintamista. Mallinnuskokeilu suoritettiin olohuoneessa Phantom 3 Standard multikopterilla. En henkilökohtaisesti suosittele niin pienessä tilassa lentämistä sisätiloissa, sillä kyseisessä multikopterissa esimerkiksi ei ole sisätiloissa hyödyllistä vision positioning järjestelmää. Lisäksi liian pienessä tilassa tulee voimakasta pyörteilyä ilmaan, joka hankaloittaa ohjaamista. Mahdotonta lennättäminen ei kuitenkaan ollut, joskin kuvantaminen tuli suorittaa videokuvauksella, lisääntyneestä ohjaustarpeesta johtuen. Yhteensopivuusongelmista johtuen, ei täysilaa- tuista videokuvaa saanut toimimaan Px4d ohjelmassa. Ongelmat johtuivat todennäköisesti tietokoneelta puuttuvasta oikeanlaisesta video codecista. Tästä johtuen mallinnuksessa tuli käytettyä heikkolaatuista videokuvaa, jonka DJI:n multikopteri tallentaa automaattisesti ohjaimen välimuistiin (video cache), joten mallista tuli huono (kuva 22). Myös puhelimella (Samsung S8+) tuli kokeiltua sisätilamallinnusta, hieman paremmalla tuloksella (kuva 23). Myös puhelimella tuli käytettyä videokuvausta, jolloin puhelimen asetuksista pystyi kytkemään kuvanvakautustoiminnot pois päältä. Pix4d Mapper ohjelma poimii videokuvasta kuvia (frame), kuvanottovälin ajan voi käyttäjä määrittellä

ohjelmassa. Koska sisätilamallinnuksessa ei ole käytettävissä paikkatietoa, on kuvien riittävän suurilimittyminen vieläkin tärkeämpää kuin multikopterilla suoritettussa ulko-kuvauksessa. Sisätilassa voidaan tarvittaessa käyttää kalansilmälinssillä varustettua kameraa (esim. Gopro action kamera), jolloin kuvien limittyminen saavutetaan helpommin pienessä tilassa, kuin kameralla, jossa on tavallinen linssi. Kuvassa 24 havainnollistetaan kalansilmälinssin vaikutus. Ohjelmistoista Pix4d Mapper tukee kalansilmälinssiä ja on yhteensopiva GoPro kameroiden kanssa. Autodesk Recap Photo ei vielä tällä hetkellä tue kalansilmälinssiä. Agisoft Photoscan ei suosittele kalansilmälinssin käyttöä, mutta asetuksia säätämällä kykenee mallintamaan myös kalansilmälinssillä otetuista kuvista. (Agisoft Photoscan manual, 2018; Autodesk Recap forum, 2018; Pix4d Mapper user manual, 2018)



KUVA 22. Sisätilamallinnus heikkolaatuisesta videosta tehtynä Pix4d:llä



KUVA 23. Sisätilamallinnus Samsung S8+ puhelimella otetusta 4K videosta

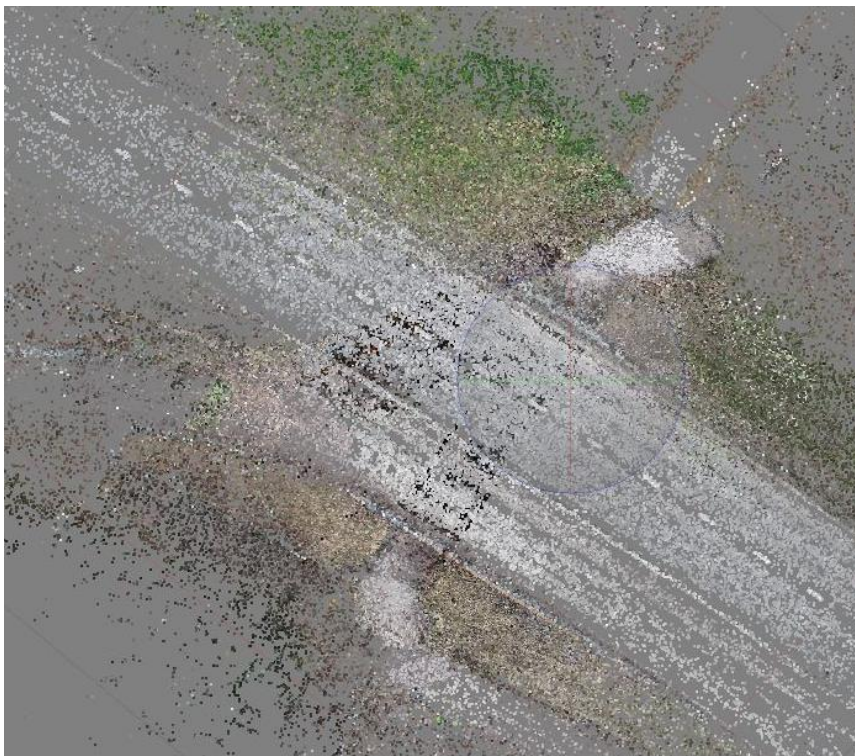


KUVA 24. Tavallinen ja kalansilmälinssi (Pix4D Webinar 14, 2014)

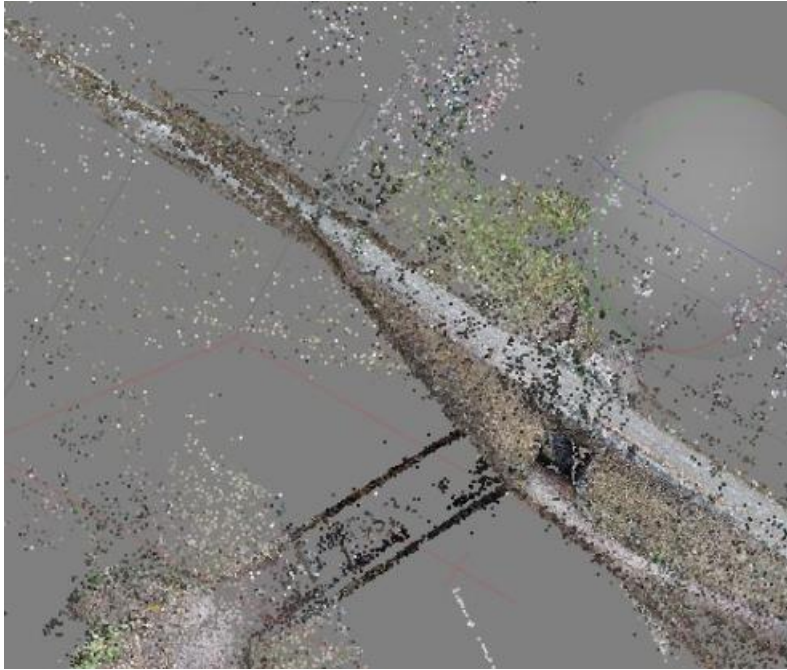
4 SILTAMALLINUS

4.1 Kenttäkokeet Lahdessa, Agisoft Photoscan

Tämän opinnäytetyön varsinaisena kenttäkokeena toimivat Lahdessa sijaitsevat erikois-tarkastussillat. Siltoja käytiin kuvaamassa yhteensä viisi kappaletta. Tässä käydään tarkemmin läpi yhden sillan mallinnus, jonka sisätilakuvat onnistuivat parhaiten. Kaikki sillat olivat pienikokoisia, mutta soveltuivat hyvin mallinnustehtäviin. Haasteita aiheutivat puusto ym. kasvillisuus. Fotogrammetrian kannalta lentoja ei myöskään suoritettu optimaalisimmalla tavalla. Koska mitään ylimääräisiä riskejä ei haluttu ottaa, ei esimerkiksi liikenteen päällä lennetty. Kaikki sillat kuvattiin molemmin puolin erikseen kahdella eri lennolla. Tämä aiheutti haasteita myöhemmässä vaiheessa, kun mallintamista tehtiin ohjelmistoilla. Alla olevissa kuvissa 25 ja 26 näkyy kahden eri lennon kuvien ongelma. Tässä vaiheessa mallinnus oli hyvä keskeyttää, ennen kuin olisi turhaan laske- nut aikaa vievää tihennettyä pistepilveä (dense point cloud), sillä harvasta pistepilves- tä/sidospisteistä (sparse point cloud) näki jo selvästi, että kahden lennon kuvat eivät taivu samaan malliin.



KUVA 25. Kahden lennon kuvat samassa mallissa, virhe



KUVA 26. Kahden lennon kuvat samassa mallissa, virhe

Sytä virheelliselle asennolle voidaan pitää muun muassa multikopterin GPS paikannuksen epätarkkuutta. Lentojen välissä on vaihdettu akku ja multikopteri on hakenut uudestaan satelliitit. Mallinnusongelma ratkaistiin siten, että mallinnettiin kummankin lennon kuvista omat mallinsa, jotka fuusioitiin yhdeksi malliksi. Ilmakuvien lisäksi otettiin myös tavallisella järjestelmäkameralla alikulkusillan sisäkuvat jotta sisäpinnat saatiin myös mallinnettua (kuvat 27 ja 28).



KUVA 27. Järjestelmäkameran kuvista mallinnettu alikulkutunneli



KUVA 28. Järjestelmäkameran kuvista mallinnettu alikulkutunneli sisältä

Lopuksi myös järjestelmäkamerakuvista tehty sisämalli yhdistettiin ilmakuvista tehtyyn malliin. Yhdistämisessä käytettiin apuna manuaalisia sidospisteitä (marker). Samat pisteet merkittiin yhdistettävissä malleissa samoilla merkinnöillä (point 1 ja point 2) (kuva 29).



KUVA 29. Ilmakuvista tehdyn mallin ja sisätiloista tehdyn mallin fuusiointi

Silloista oli saatavilla alkuperäiset piirustukset, niitä katsomalla pystyi arvioimaan mallinnuksen onnistumista. Multikopterilla otetuista kuvista, saatiin tehtyä malleja, joissa suhteellinen tarkkuus (mallin sisäinen tarkkuus, pois lukien sijainnin tarkkuus maapallolla) oli hyvällä tasolla, mittapoikkeamat olivat suuruusluokaltaan maksimissaan 5cm heittoja alkuperäisten piirustusten mittoihin verrattuna. Piirustuksia apuna käyttäen, oli mahdollista skaalata malli mittatarkaksi. Skaalaus tehtiin lisäämällä tunnelin molemmille puolille pituusmitat ja toiseen päähän leveysmitta. Tähän käytettiin Agisoft Photoscan ohjelman scale bar toimintoa. Kuvissa 30 ja 31 näkyy korkeus- ja leveysmitat skaalauksen jälkeen. Siltamallin laaturaportti löytyy liitteestä 2.



KUVA 30. Mittatarkaksi skaalattu, korkeus



KUVA 31. Mittatarkaksi skaalattu, leveys

4.2 Kenttäkokeet Lahdessa, Autodesk Recap Photo

Lahden siltoja tuli mallinnettua myös Autodesk Recap Photo ohjelmalla. Koska mallinuskokeilut tulivat suoritetuksi opiskelijalisenssillä, oli kuvamäärä rajoitettu sataan kuvaan. Tämä aiheutti omat haasteensa, eikä esimerkiksi sillasta otettujen sisäpuolisten kuvien yhdistämistä pystynyt kokeilemaan ohjelmassa. Ulkopuolisesta mallista tuli kuitenkin hyvä (kuva 32). Sillasta tehdyn ulkopuolisen mallinnuksen laaturaportti löytyy liitteestä 3.



KUVA 32. Multikopterin kuvista tehty ulkopuolinen malli

Myös sisäpuolelta otetuista järjestelmäkameran valokuvista tuli kokeiltua mallinnusta, mutta tässä tapauksessa kuvamäärän rajoitus tuli vastaan. Lähes viiden sadan valokuvan karsiminen sataan aiheutti sen, että malliin tuli lukuisia virheitä. Sisäkuvista tehty malli on esitetty alla olevassa kuvassa 33.



KUVA 33. Sisäkuvista tehty malli

5 POHDINTA

Voidaan todeta, että miehittämättömät ilma-alukset ovat sovellettavissa mainiosti tarkastajan päivittäisiin tarkastustöihin ja ovat merkittävä apuväline tarkastajien työssä. Tämän päivän mikro kokoluokan multikopterit ovat tehty niin helppoiksi lennättää, että ilmailusta vähemmän kokeneen tarkastajan on mahdollista omaksua lennättäminen, ilman ylitsepääsemätöntä kynnystä. On syytä kuitenkin huomioida, että ennen kaikkea turvallisuusnäkökulmat on aina otettava huomioon ja riittävä perehdytys on tarpeen.

Kehityskohteina ovat tarkkuuden parantaminen, yrityksen sisäisen koulutusmateriaalin luominen ja tulevien multikoptereiden miettiminen, mitkä soveltuisivat parhaiten päivittäiseen tarkastustyöhön. Markkinoille on tullut esimerkiksi pienikokoinen kokoontaitettava multikopteri, joka mahtuu erittäin pieneen tilaan, omaa hyvän tuulen sietokyvyn ja 180 astetta kääntyvän kameragimbaalin. Lisäksi sisätilamallinnusta on aihetta kehittää ja suorittaa tarvittavat sisätilakokeet, kun kokeiluun sopiva hallitila saadaan käyttöön.

Alla olevassa kuvassa on esitettyä yksi vartenotettava apuvälinejärjestelmä tarkkuuden parantamiseksi, automatisoiduilla maatarkastuspisteillä saavutetaan merkittävä hyöty kenttätöissä. Tarkkuus vastaa perinteisin menetelmin (tarkkuus GPS) saavutettavaa tarkkuutta, etuna kenttätöiden väheneminen. Automatisoidut maatarkastuspisteet täytyy vain viedä sopiviin paikkoihin mallinnettavalla alueella ja kytkeä päälle. Koordinaattitiedot saadaan lopuksi helppolukuisesta raportista, josta koordinaatit on helppo siirtää mallinnusohjelmaan. Kentällä ollessa ei tarvitse erikseen kirjailla mittaustietoja, eikä viritellä erillisiä tukiasemia. Nämä soveltuisivat hyvin esimerkiksi suurten siltojen mallintamisen apuvälineiksi ja mahdollisissa kartoitustehtävissä.



KUVA 34. Automatisoitu maatarkastuspiste (Aeropoints, 2018)

Työn aikana tuli tehtyä 3d mallista myös videoita, joista tuli visuaalisesti vaikuttavia. Myös markkinointinäkökulmasta ajateltuna, videoissa on potentiaalia, esimerkiksi tarkastuspalveluja markkinoidessa erilaisilla messuilla.

Ohjelmistoista Pix4d Mapper ja Agisoft Photoscan Pro ohjelmat soveltuvat hyvin tarkastustöihin, sillä molemmista ohjelmista sai tarkasteltua alkuperäisiä valokuvia. Autodesk Recap Photo ohjelmasta puuttui kyseinen ominaisuus. Agisoft Photoscan Pro:n pikaohje löytyy liitteestä 4.

Tämän opinnäytetyön tekeminen opetti minulle paljon uusia asioita. En ollut aiemmin käyttänyt yhtäkään fotogrammetriaohjelmistoa ja multikoptereilla olin aiemmin ottanut vain tavallisia valokuvia. Nyt minulla on täydet valmiudet käyttää useita ohjelmistoja ja ymmärrys 3d-mallintamisesta. Tästä on hyvä jatkaa ja kehittyä uusien haasteiden parissa.

LÄHTEET

Aeropoints. Luettu 28.5.2018.

<https://www.propelleraero.com/aeropoints/>

Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.4. Ladattu 27.4.2018.

http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf

DJI Phantom 3 standard specs. Luettu 23.5.2018.

<https://www.dji.com/phantom-3-standard/info>

DJI Phantom 4 pro specs. Luettu 23.5.2018.

<https://www.dji.com/phantom-4-pro/info>

Dronezon. Quick drone parts overview along with handy diy tips. Luettu 17.5.2018.

<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/drone-components-parts-overview-with-tips/>

Videodrone X4S. Luettu 30.5.2018

<https://videodrone.fi/videodrone/videodrone-x4s/>

Vinni, P. 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Lu-

ettu 1.5.2018. <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>

Dixon, S. Photogrammetry Guide. Luettu 20.5.2018.

<https://legacy.gitbook.com/book/sophiedixon/photogrammetry-guide/details>

Pix4D Mapper 4.1 USER MANUAL. Ladattu 1.5.2018.

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf->

Pix4D Support, TOOLS – GSD Calculator. Ladattu 25.5.2018.

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-Calculator>

Pix4D Webinar 14: Indoor Mapping. Julkaistu Joulukuu 2014. Katsottu 18.5.2018.

<https://www.youtube.com/watch?v=8HuOvf4rKaw>

Propeller Aero. What is ground sample distance (GSD) and how does it affect your drone data? Luettu 20.4.2018

<https://www.propelleraero.com/blog/ground-sample-distance-gsd-calculate-drone-data/>

Salmenperä, H. 2004. Fotogrammetria. Opetusmoniste 2004:4. Tampere. TTY-PAINO.

Using "Fish-Eye" photos in ReCap Photo, Recap-forum. Luettu 28.5.2018.

<https://forums.autodesk.com/t5/recap-forum/using-quot-fish-eye-quot-photos-in-recap-photo/td-p/7852313>

Wikipedia, Photogrammetry. Luettu 24.5.2018

<https://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry>

Wikipedia. Quadcopter. Luettu 25.5.2018.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Quadcopter>

LIITTEET

Liite 1. Pix4d laaturaportti

1(8)

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.1.25

! **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	vanhavesitomi_hires
Processed	2018-04-23 19:05:02
Camera Model Name(s)	FC300C_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.62 cm / 0.64 in
Time for Initial Processing (without report)	01h:33m:22s

Quality Check



? Images	median of 37589 keypoints per image	✓
? Dataset	204 out of 204 images calibrated (100%), all images enabled	✓
? Camera Optimization	17.81% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠
? Matching	median of 16072.7 matches per calibrated image	✓
? Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Calibration Details



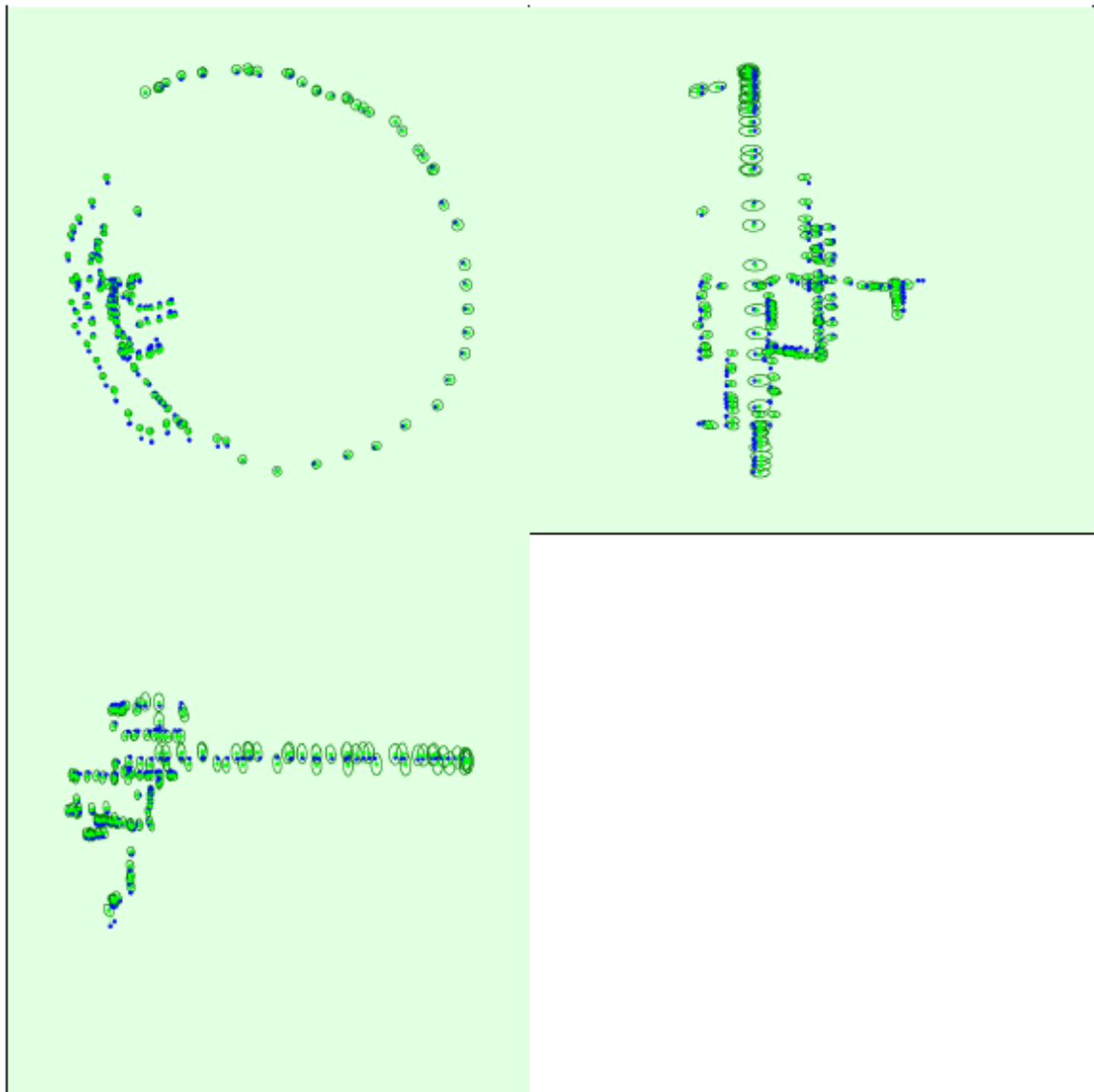
Number of Calibrated Images	204 out of 204
Number of Geolocated Images	204 out of 204

? Initial Image Positions



Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

2 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 5x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

2 Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.148	0.148	0.269	0.575	0.311	0.730
Sigma	0.038	0.039	0.079	0.401	0.058	0.850

Bundle Block Adjustment Details



3(8)

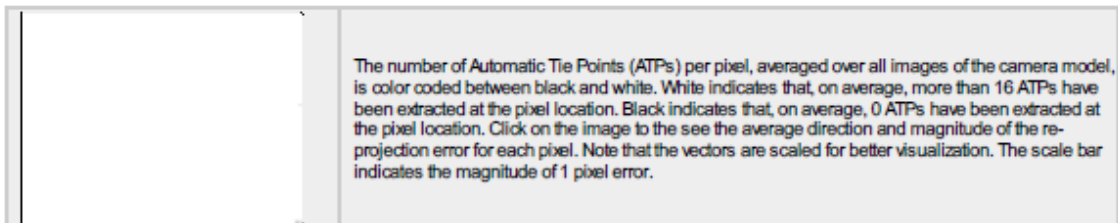
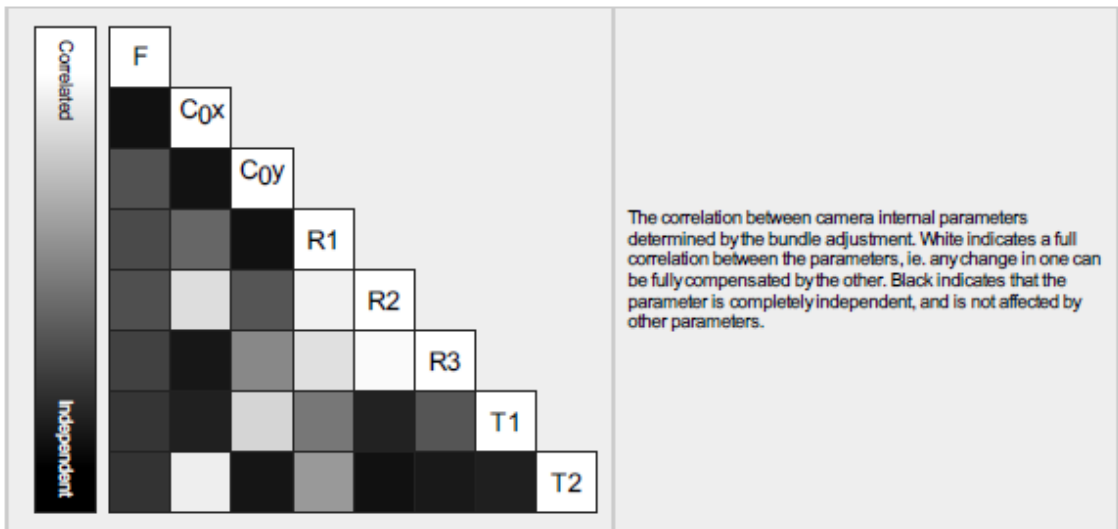
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3123319
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	911404
Mean Reprojection Error [pixels]	0.215

Internal Camera Parameters

FC300C_3.6_4000x3000 (RGB). Sensor Dimensions: 6.317 [mm] x 4.738 [mm]

EXIF ID: FC300C_3.6_4000x3000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2285.722 [pixel] 3.610 [mm]	2000.006 [pixel] 3.159 [mm]	1500.003 [pixel] 2.369 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	2692.994 [pixel] 4.253 [mm]	2091.296 [pixel] 3.303 [mm]	1491.926 [pixel] 2.356 [mm]	0.005	-0.019	0.028	-0.002	0.001
Uncertainties (Sigma)	0.092 [pixel] 0.000 [mm]	0.157 [pixel] 0.000 [mm]	0.145 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	37589	16073
Min	18994	2440
Max	51009	27341
Mean	35656	15310

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	568304
In 3 Images	139151
In 4 Images	64975
In 5 Images	37385

4(8)

In 6 Images	23345
In 7 Images	16040
In 8 Images	11834
In 9 Images	8986
In 10 Images	6974
In 11 Images	5777
In 12 Images	4813
In 13 Images	3481
In 14 Images	2704
In 15 Images	2308
In 16 Images	1968
In 17 Images	1641
In 18 Images	1387
In 19 Images	1156
In 20 Images	940
In 21 Images	833
In 22 Images	709
In 23 Images	613
In 24 Images	583
In 25 Images	466
In 26 Images	478
In 27 Images	425
In 28 Images	343
In 29 Images	319
In 30 Images	307
In 31 Images	272
In 32 Images	248
In 33 Images	229
In 34 Images	227
In 35 Images	191
In 36 Images	176
In 37 Images	159
In 38 Images	154
In 39 Images	127
In 40 Images	106
In 41 Images	93
In 42 Images	112
In 43 Images	101
In 44 Images	64
In 45 Images	65
In 46 Images	56
In 47 Images	51
In 48 Images	44
In 49 Images	41
In 50 Images	57
In 51 Images	33
In 52 Images	33
In 53 Images	34
In 54 Images	28
In 55 Images	22
In 56 Images	24
In 57 Images	24
In 58 Images	28
In 59 Images	23
In 60 Images	18
In 61 Images	17
In 62 Images	16
In 63 Images	14
In 64 Images	15

5(8)

In 65 Images	18
In 66 Images	13
In 67 Images	13
In 68 Images	15
In 69 Images	8
In 70 Images	5
In 71 Images	8
In 72 Images	6
In 73 Images	10
In 74 Images	9
In 75 Images	4
In 76 Images	4
In 77 Images	13
In 78 Images	5
In 79 Images	3
In 80 Images	3
In 81 Images	8
In 82 Images	7
In 83 Images	7
In 84 Images	3
In 85 Images	3
In 86 Images	9
In 87 Images	5
In 88 Images	5
In 89 Images	1
In 90 Images	6
In 91 Images	4
In 92 Images	6
In 93 Images	4
In 94 Images	2
In 95 Images	3
In 97 Images	4
In 98 Images	3
In 99 Images	5
In 100 Images	2
In 101 Images	1
In 102 Images	2
In 103 Images	1
In 104 Images	2
In 105 Images	2
In 106 Images	3
In 107 Images	2
In 109 Images	1
In 112 Images	1
In 113 Images	2
In 114 Images	1
In 115 Images	2
In 116 Images	2
In 118 Images	1
In 119 Images	1
In 121 Images	2
In 122 Images	2
In 123 Images	1
In 125 Images	2
In 127 Images	2

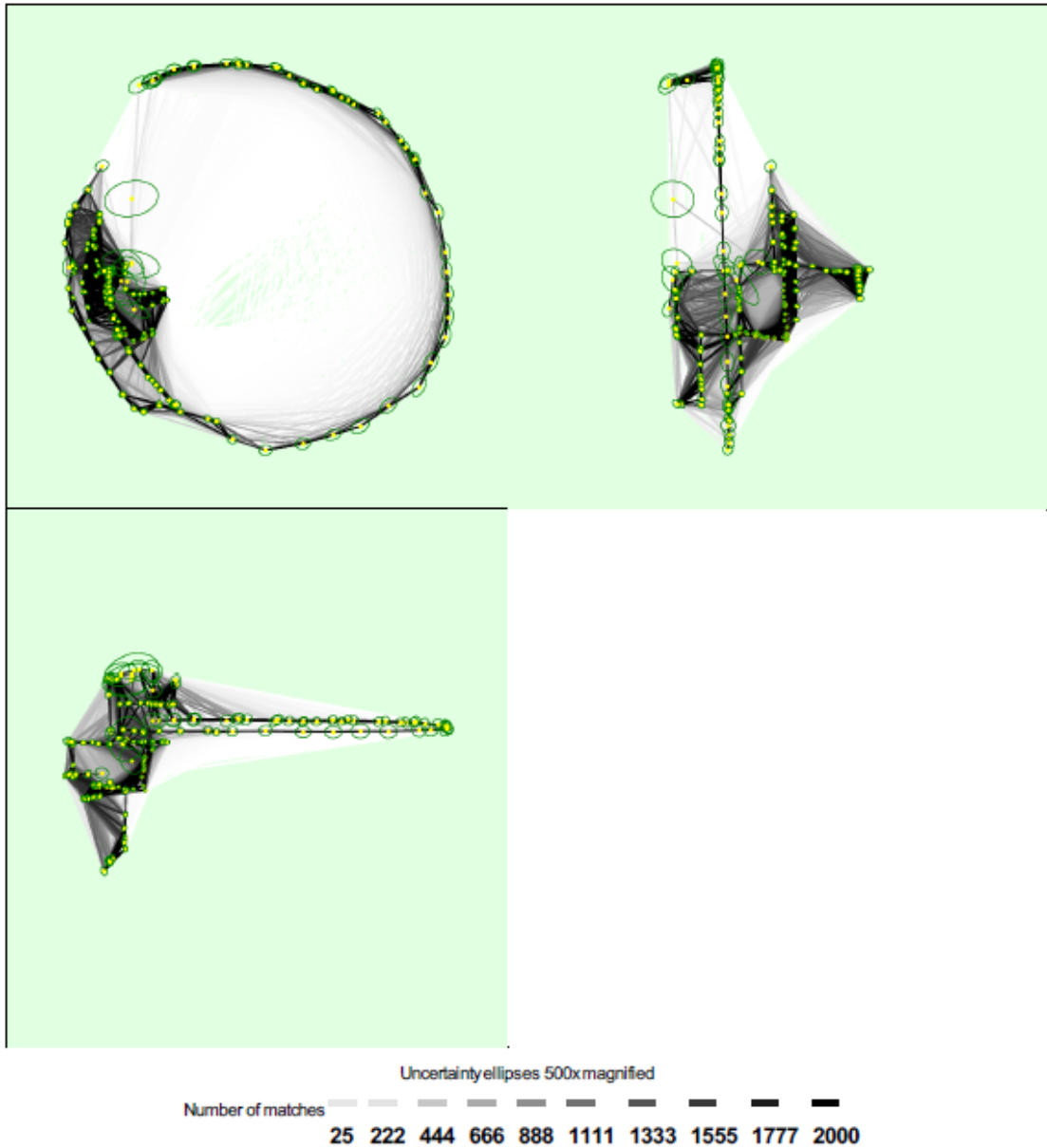


Figure 5: Computed Image positions with links between matched Images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the Images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more Images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.002	0.002	0.002	0.007	0.004	0.011
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.008	0.001	0.015

Geolocation Details



Absolute Geolocation Variance



7(8)

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.49
-3.00	0.00	56.37	41.67	50.00
0.00	3.00	43.63	58.33	49.51
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.000525	-0.000148	-0.002577
Sigma [m]		0.315610	0.875955	0.876393
RMS Error [m]		0.315611	0.875955	0.876397

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the Images. Columns X, Y, Z show the percentage of Images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the Image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

? Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of Images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	16.182
Phi	3.956
Kappa	18.041

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4810MQ CPU @ 2.80GHz RAM: 32GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 10.18.10.3740), NVIDIA Quadro K1100M (Driver: 9.18.13.3182), RDPDD Chained DD (Driver: unknown), RDP Encoder Mirror Driver (Driver: unknown), RDP Reflector Display Driver (Driver: unknown)
Operating System	Windows 7 Enterprise, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 34N (egm96)

Processing Options



8(8)

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/4 (Quarter image size, Fast)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LCD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	23m:35s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	06m:24s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	1972659
Average Density (per m ³)	305.71

Agisoft PhotoScan

Processing Report, silta 5, lento2 ja kamerakuvat
17 May 2018



Survey Data

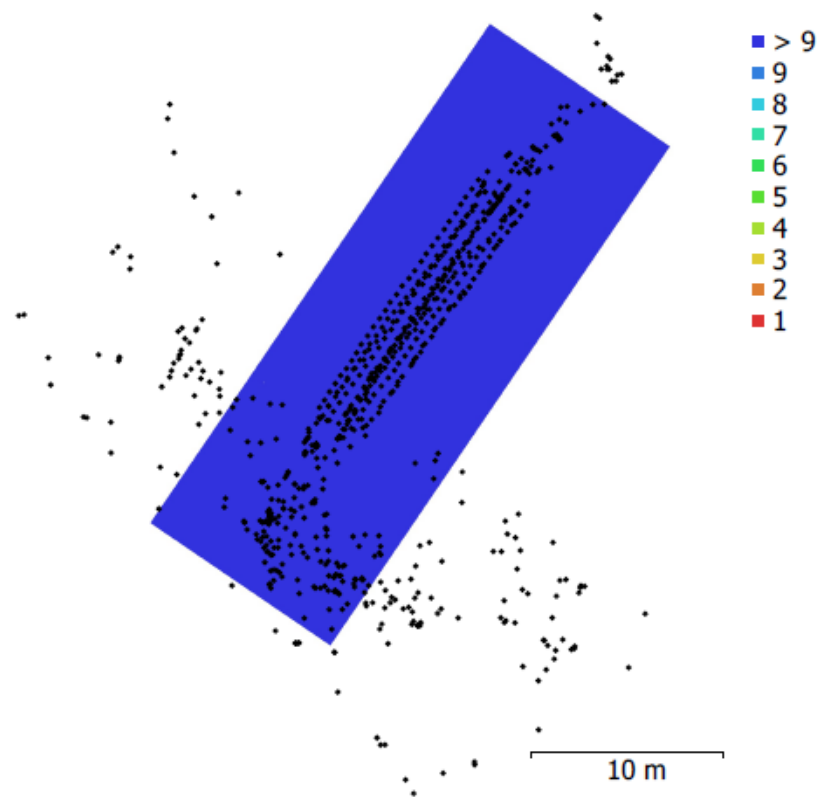


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	750	Camera stations:	749
Flying altitude:	9.75 m	Tie points:	615,827
Ground resolution:	2.62 mm/pix	Projections:	2,069,547
Coverage area:	356 m ²	Reprojection error:	1.19 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 μ m	No
Canon EOS 70D (20mm)	3648 x 2432	20 mm	6.26 x 6.26 μ m	No
Canon EOS 70D (18mm)	3648 x 2432	18 mm	6.26 x 6.26 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

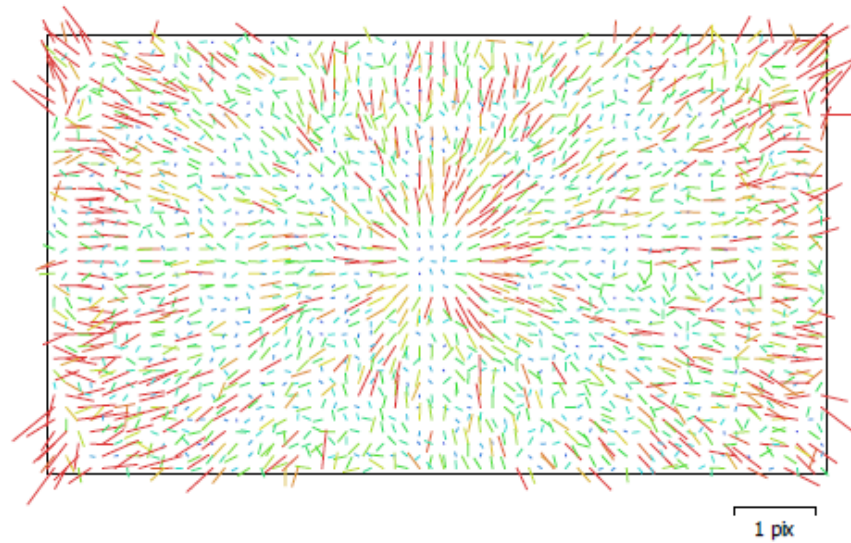


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

270 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3078	8.8 mm	2.53 x 2.53 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3685.25	0.046	1.00	0.01	-0.23	-0.22	-0.02	-0.17	0.24	-0.21	-0.01	-0.18
Cx	23.1063	0.078		1.00	0.09	-0.05	0.09	-0.03	0.02	-0.01	0.95	0.05
Cy	3.79527	0.08			1.00	-0.26	-0.09	-0.04	0.03	-0.03	0.12	0.88
B1	-6.87724	0.017				1.00	-0.00	0.01	-0.03	0.04	-0.04	-0.03
B2	-0.557736	0.016					1.00	-0.02	0.01	-0.00	-0.05	-0.11
K1	0.00743896	4.3e-05						1.00	-0.96	0.91	-0.01	-0.06
K2	-0.0177823	0.00014							1.00	-0.98	0.01	0.04
K3	0.0179877	0.00014								1.00	-0.00	-0.03
P1	0.00210808	6.1e-06									1.00	0.08
P2	-0.00031918	5.2e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

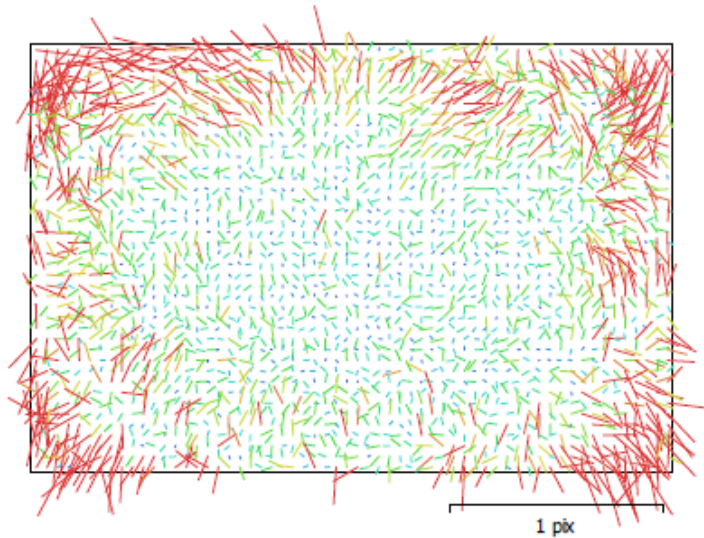


Fig. 3. Image residuals for Canon EOS 70D (20mm).

Canon EOS 70D (20mm)

216 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	3648 x 2432	20 mm	6.26 x 6.26 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3167.19	0.091	1.00	0.03	-0.02	-0.65	0.12	-0.12	0.12	-0.08	-0.08	-0.05
Cx	28.2451	0.081		1.00	0.00	-0.00	-0.05	-0.03	0.05	-0.06	0.80	-0.02
Cy	-37.1992	0.076			1.00	-0.03	0.08	0.01	-0.03	0.03	-0.00	0.72
B1	-2.85709	0.069				1.00	-0.12	-0.01	0.01	-0.01	0.02	0.04
B2	-3.88365	0.063					1.00	0.01	-0.01	0.01	-0.12	-0.01
K1	-0.173207	8.4e-05						1.00	-0.97	0.91	-0.03	0.01
K2	0.174765	0.00042							1.00	-0.98	0.04	-0.02
K3	0.015573	0.00063								1.00	-0.05	0.02
P1	0.000971295	5.1e-06									1.00	-0.01
P2	-0.00100418	4e-06										1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

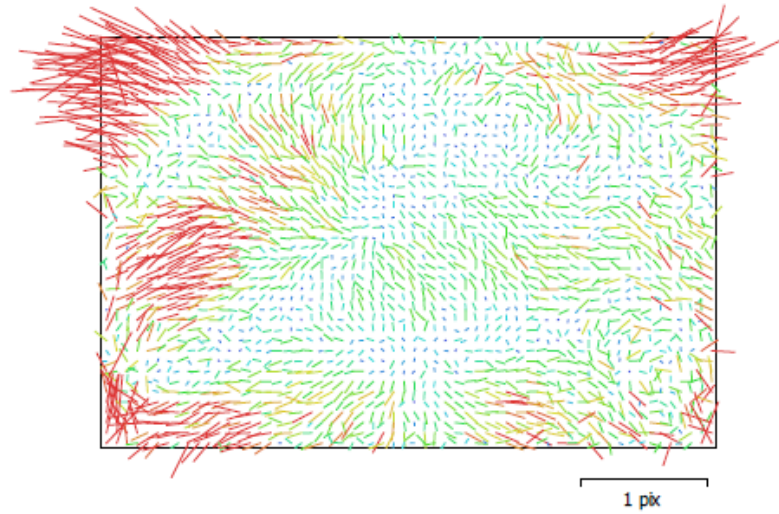


Fig. 4. Image residuals for Canon EOS 70D (18mm).

Canon EOS 70D (18mm)

264 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	3648 x 2432	18 mm	6.26 x 6.26 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3044.63	0.088	1.00	0.04	-0.08	-0.61	0.10	-0.16	0.16	-0.12	0.02	-0.00
Cx	30.5757	0.088		1.00	0.01	-0.07	-0.05	-0.04	0.06	-0.08	0.75	-0.01
Cy	-26.3856	0.089			1.00	0.11	0.07	0.02	-0.03	0.04	-0.01	0.67
B1	-0.0515976	0.066				1.00	-0.11	-0.01	-0.01	0.01	-0.05	0.01
B2	-2.05723	0.063					1.00	0.00	-0.00	0.01	-0.00	-0.02
K1	-0.189652	9.2e-05						1.00	-0.96	0.90	-0.02	-0.03
K2	0.153524	0.00041							1.00	-0.98	0.03	0.01
K3	0.00304066	0.00054								1.00	-0.03	-0.01
P1	0.000802928	5.5e-06									1.00	-0.02
P2	-0.000653857	4.8e-06										1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

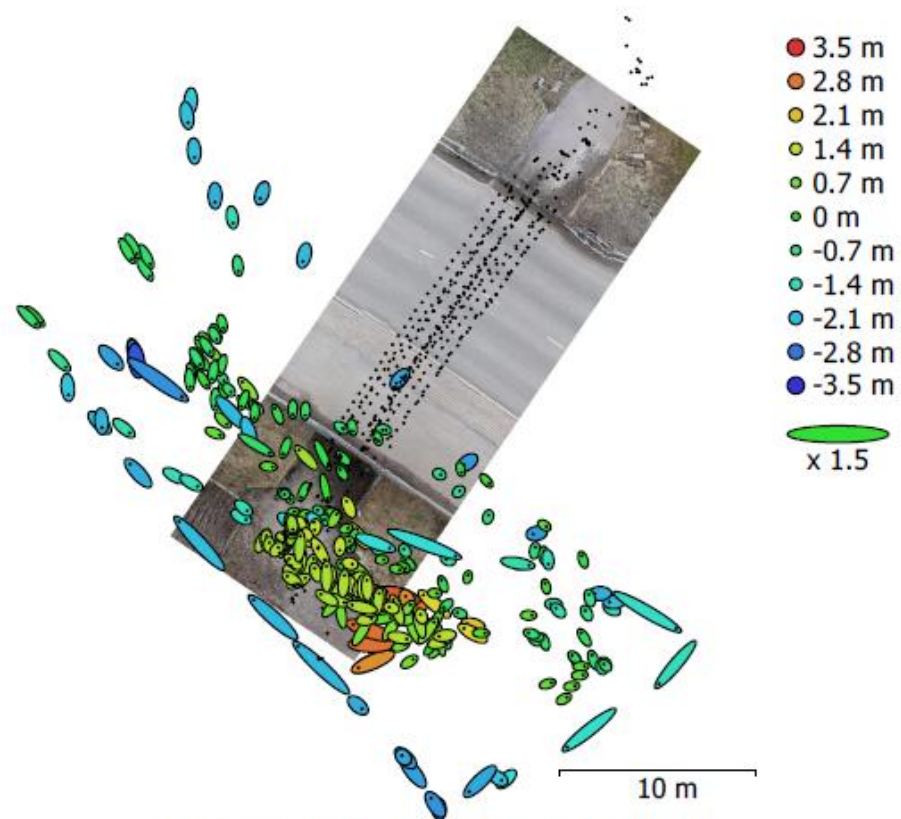


Fig. 5. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.427348	0.396563	1.3048	0.583	1.42912

Table 5. Average camera location error.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Ground Control Points



• Control points τ Check points 10 m

Fig. 6. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
8	25.6079	35.7939	84.3014	44.011	95.0983

Table 6. Check points RMSE.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 1	-2.82627	-8.75065	119.209	119.564	3.804 (91)
point 2	28.3263	-16.0319	119.86	124.2	24.293 (75)
point 3	-10.9554	-21.7189	118.903	121.366	0.000 (12)
point 4	-65.6671	-97.1009	118.791	166.89	0.000 (44)
point 5	-1.25304	-1.85361	2.41237	3.29021	0.000 (33)
point 6	-0.87866	-2.13314	2.41226	3.33786	0.000 (32)
point 7	-1.08356	-2.64679	2.78953	3.99513	0.000 (59)
point 8	0.21427	-0.859614	2.80391	2.94053	0.000 (106)
Total	25.6079	35.7939	84.3014	95.0983	10.042

Table 7. Check points.
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
point 3_point 4	14.9824	-0.017596
point 5_point 6	3.97757	-0.0224338
point 7_point 8	15.0233	0.0232942
Total		0.0212564

Table 8. Control scale bars.

Digital Elevation Model

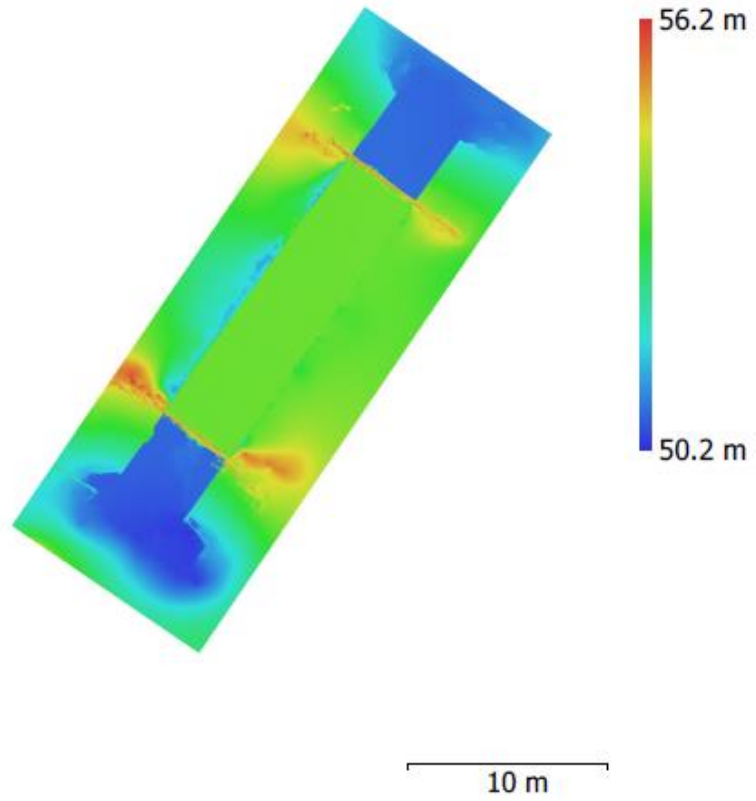


Fig. 7. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.8 mm/pix
Point density: 297 points/cm²

Processing Parameters

General	
Cameras	750
Aligned cameras	749
Markers	8
Scale bars	3
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	615,827 of 754,853
RMS reprojection error	0.241234 (1.19075 pix)
Max reprojection error	0.85739 (49.3843 pix)
Mean key point size	5.2636 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.08402
Dense Point Cloud	
Points	36,409,006
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Model	
Faces	6,893,696
Vertices	3,450,197
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Face count	6,899,037
Processing time	6 minutes 55 seconds
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filing	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	1 minutes 20 seconds
Blending time	15 minutes 11 seconds
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Enable ghosting filter	No
Processing time	25 minutes 5 seconds
DEM	
Size	4,660 x 5,573
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	9 seconds
Orthomosaic	
Size	9,888 x 11,826
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)

Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filing	Yes
Processing time	10 minutes 55 seconds
Software	
Version	1.4.2 build 6205
Platform	Windows 64

Liite 3. Autodesk Recap Photo laaturaportti

1(2)

Project Report

Summary

Project:
Silta5_100kuvaa

Date:
Tue May 8 21:57:49 2018

Number of Cameras:
1

Camera Model(s):
[0] DJI

Average Ground Sampling Distance (GSD):
1.000185 cm / 0.010002 m

Area Covered:
916.197998 m sq / 0.000916 km sq


Processing Time:
55 minutes 7 seconds

Target Coordinate System:
UTM84-35N

Calibration:
70 out of 100

Images with GPS:
100 out of 100

Orthophoto



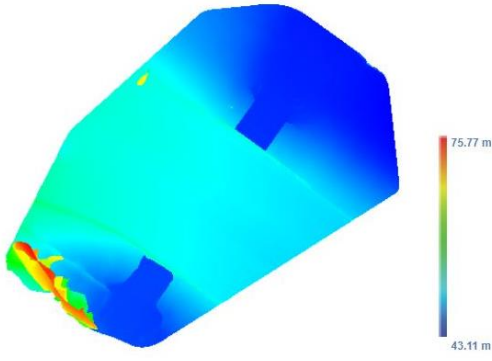
Orthophoto Dimensions:
4114 x 3590

Orthophoto Elevation Dimensions:
411 x 358

3D Texturing Parameters - Texture Size:
8192 x 8192 (3)

Digital Elevation Model

10m

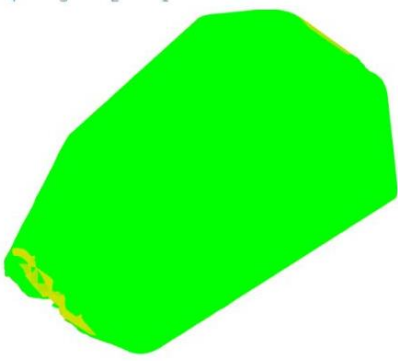


Digital Elevation Model Resolution:
10.00 cm / px

Image Overlap

Overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow indicates poor overlaps that would generate poor results. Green indicates an overlap of more than 5 images for every pixel.

5 4 3 2 1



Effective Overlaps:
2.65 images per pair

Ground Control Points

Coordinate System:

LL84

User Input Control Points

Name	Valid	X	Y	Z	Calculated XY Error (m)*	Calculated Z Error (m)*
Locator	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

User Input Check Points

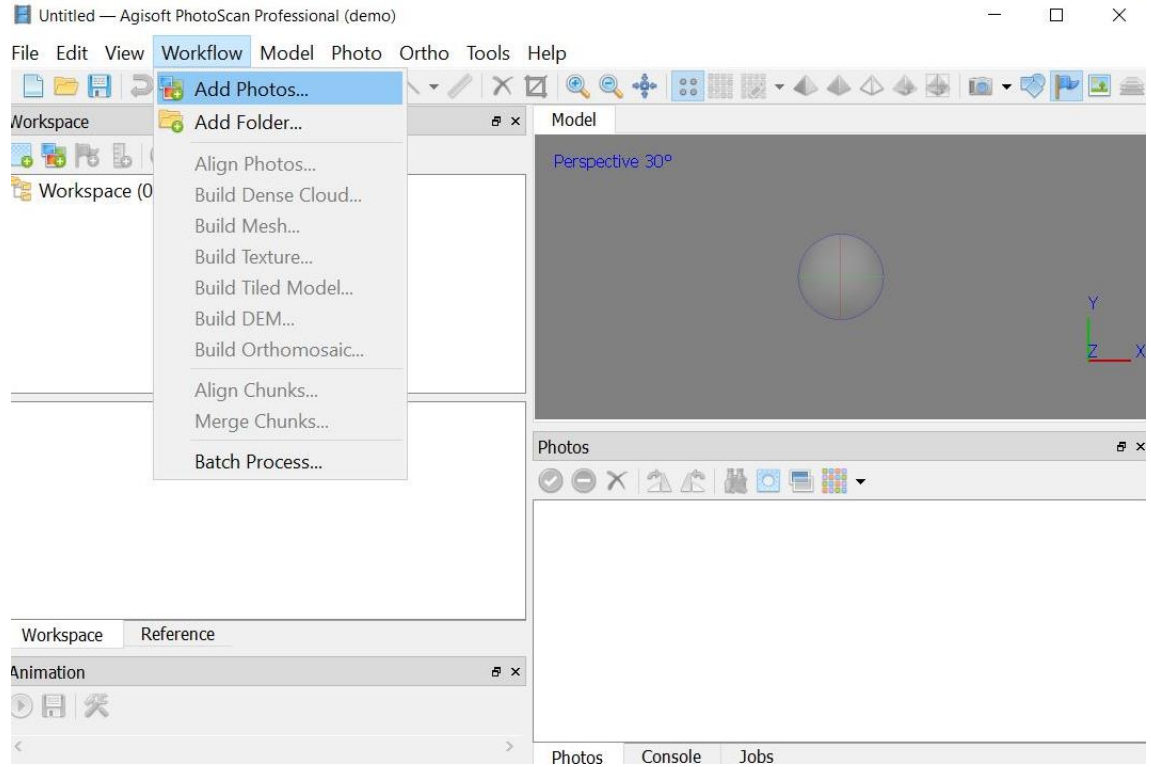
Name	Valid	X	Y	Z	Calculated XY Error (m)*	Calculated Z Error (m)*
Check Point	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

*XY Error(m) and Z Error(m) are the differences between user's inputs and system calculated coordinate points and is related to the GSD.

Liite 4. Agisoft Photoscan pikaohje

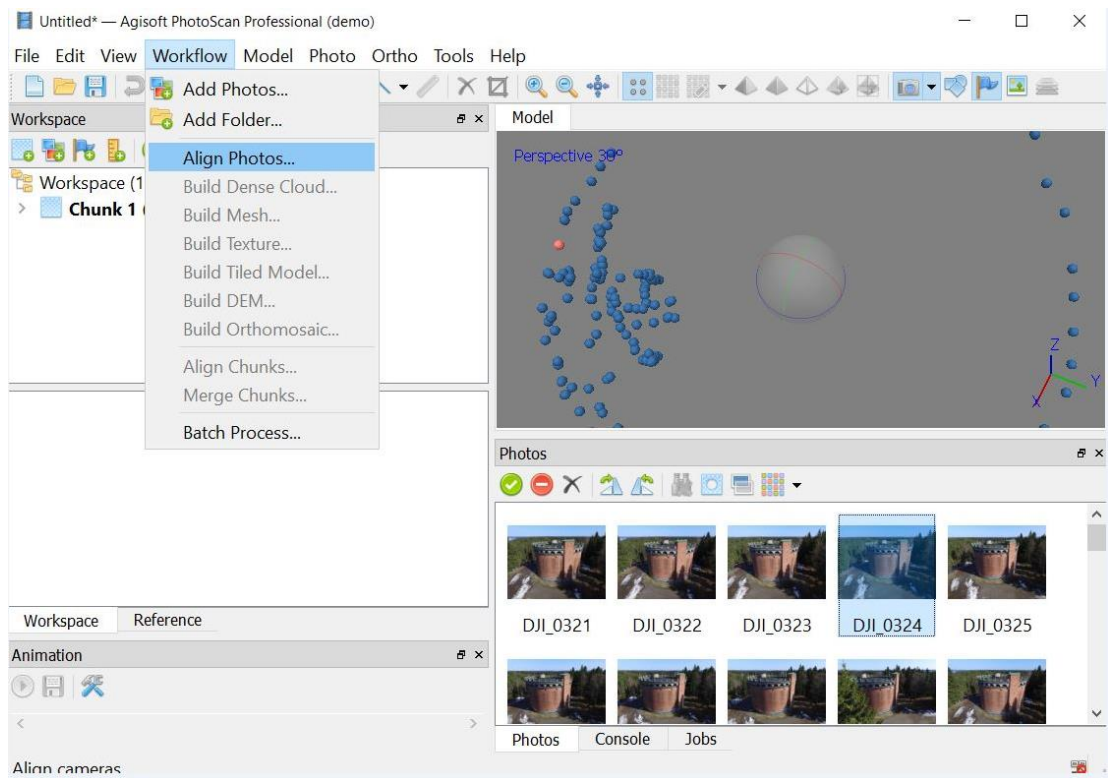
1(5)

1. Lisää kuvat (Add photos, Kuva 1).

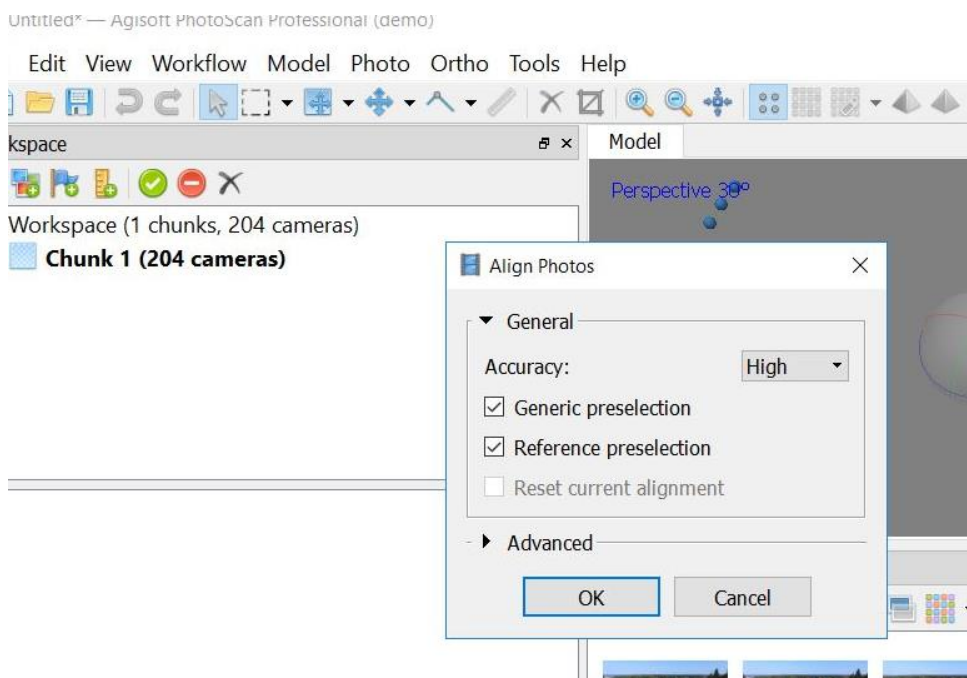


Kuva 1

2. Sommittele kuvat ja muodosta sidospisteet/harva pistepilvi (Align photos, Kuvat 2-3).

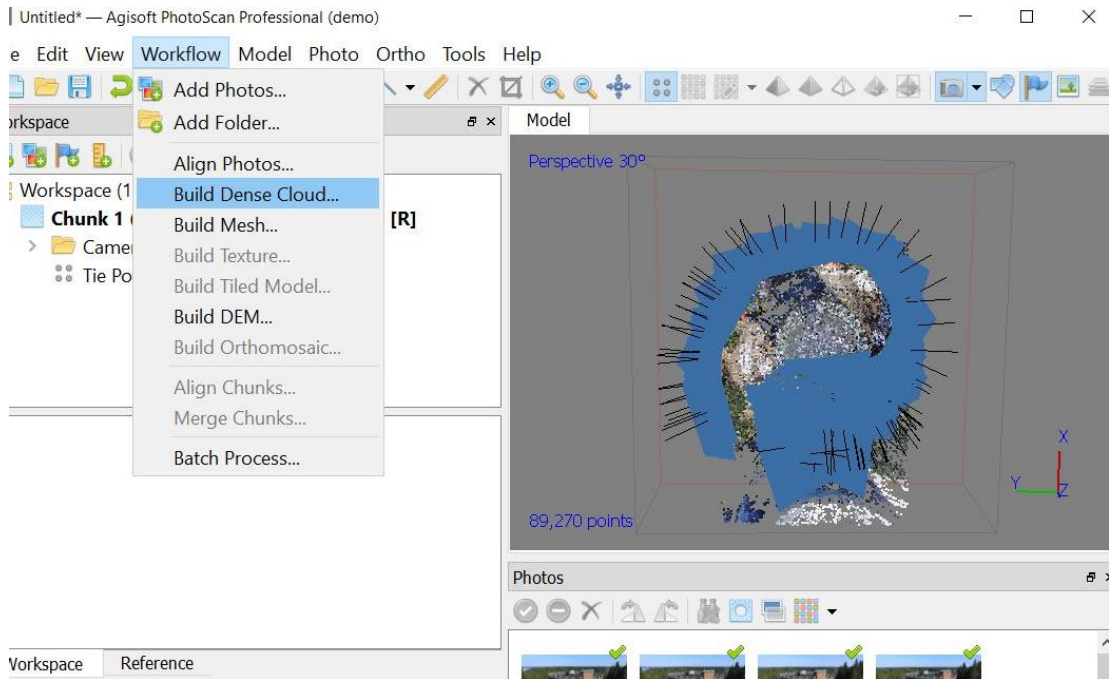


KUVA 2.

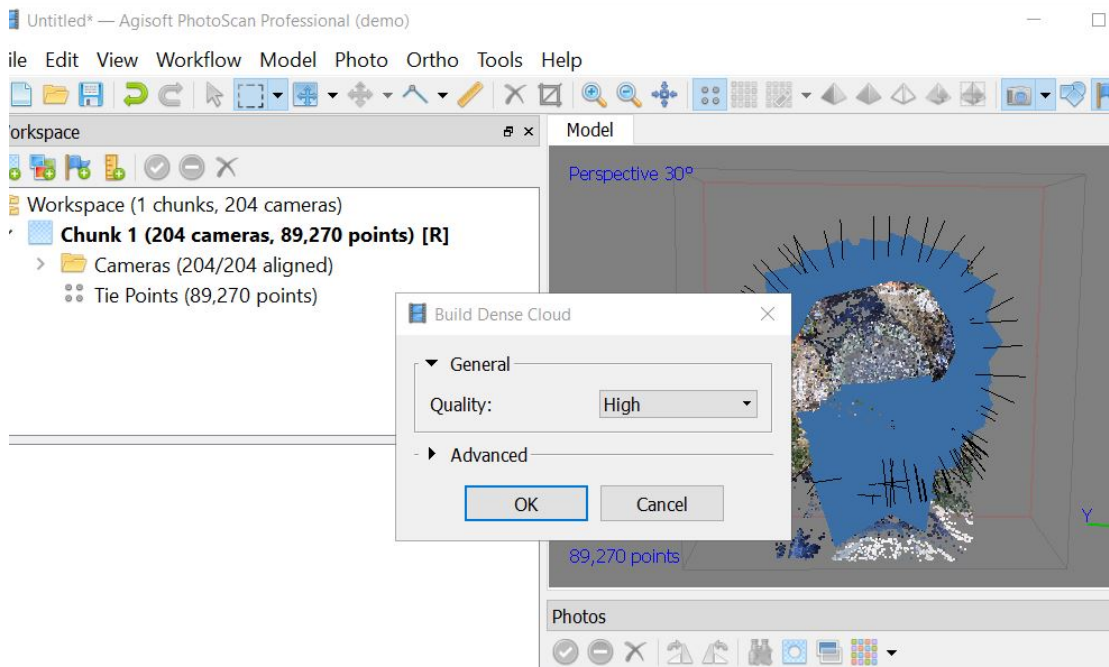


KUVA 3.

3. Muodosta tiheennetty pistepilvi (Workflow/Build dense cloud, Kuvat 4-5).



Kuva 4.

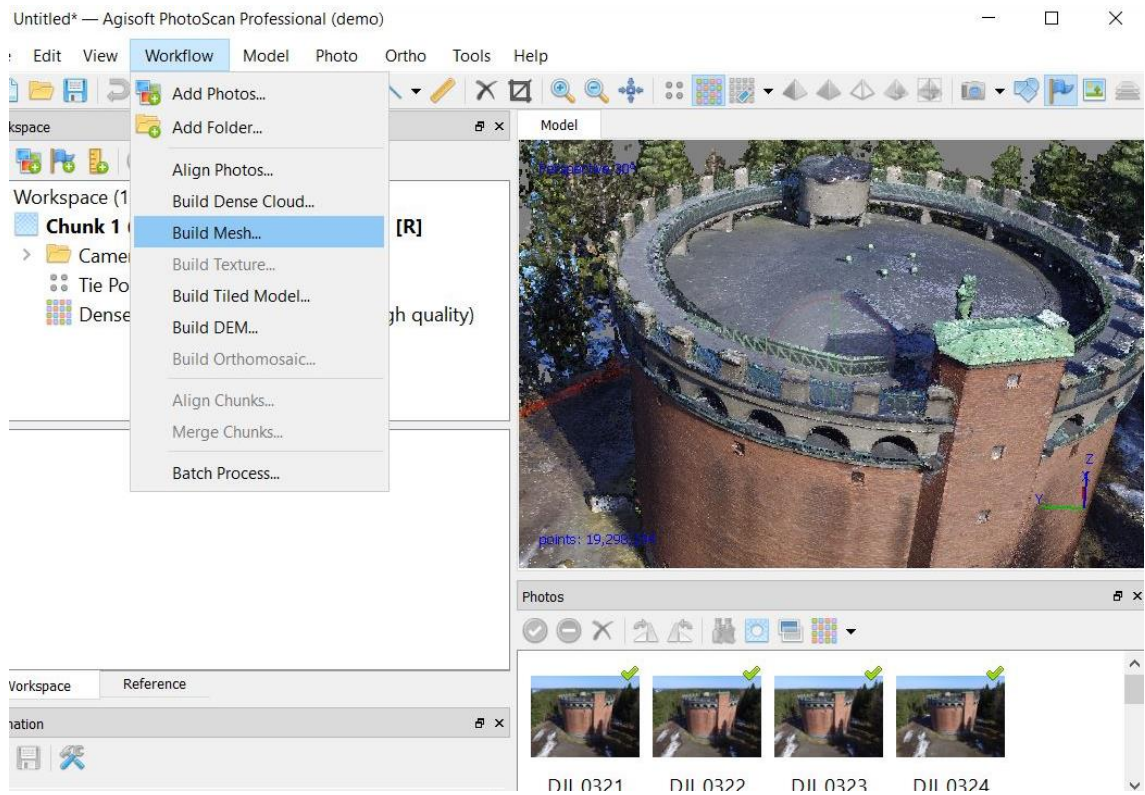


Kuva 5.

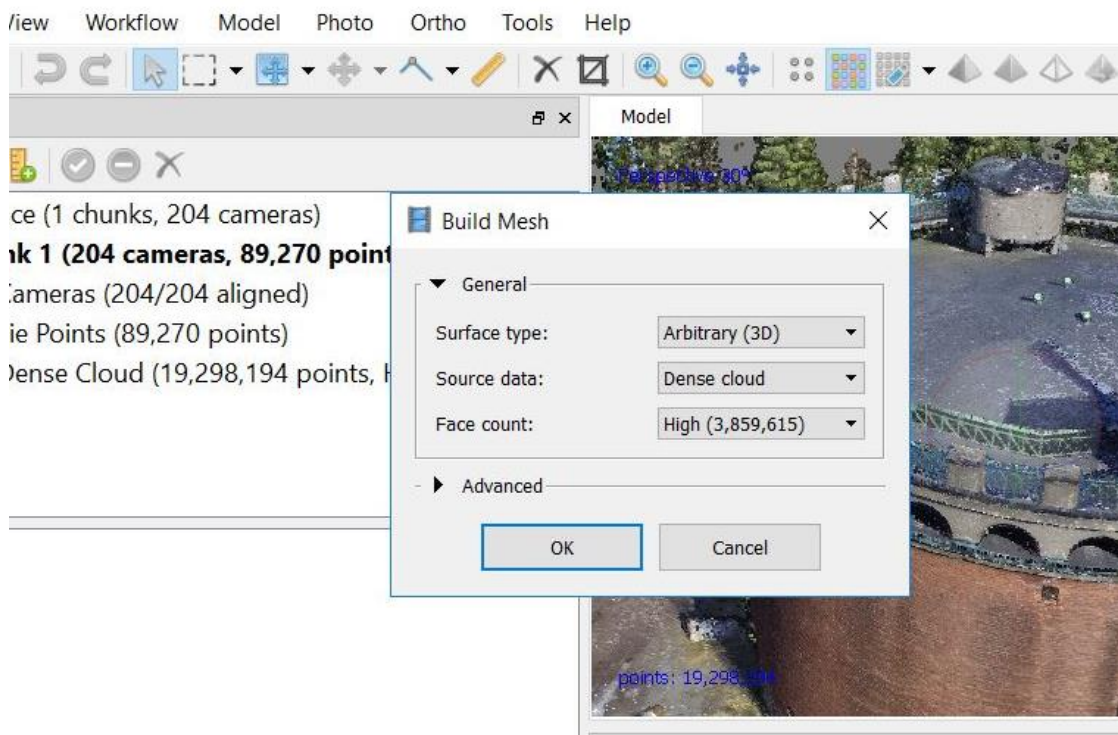
Huom. Mikäli käytössä ei ole tehokasta laskentakonetta, kannattaa käyttää esim. medium asetusta.

4(5)

4. Muodosta polygoni-/verkotusmalli (Workflow/Build Mesh, kuvat 6-7).

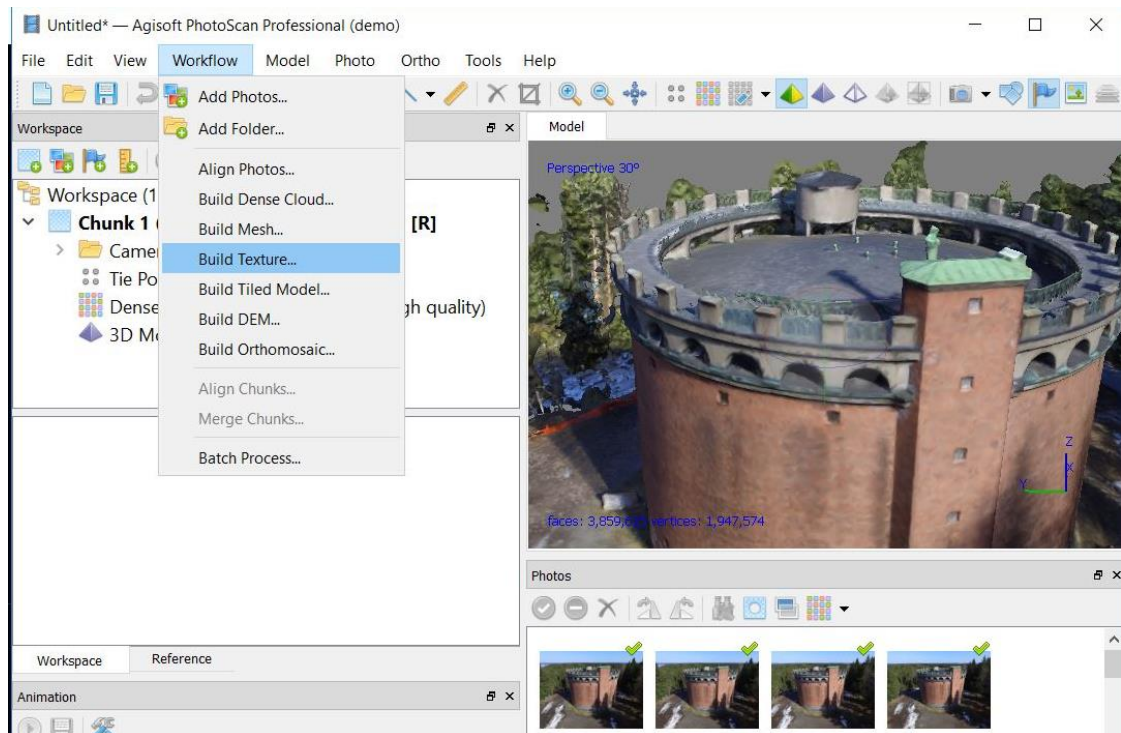


KUVVA 6.

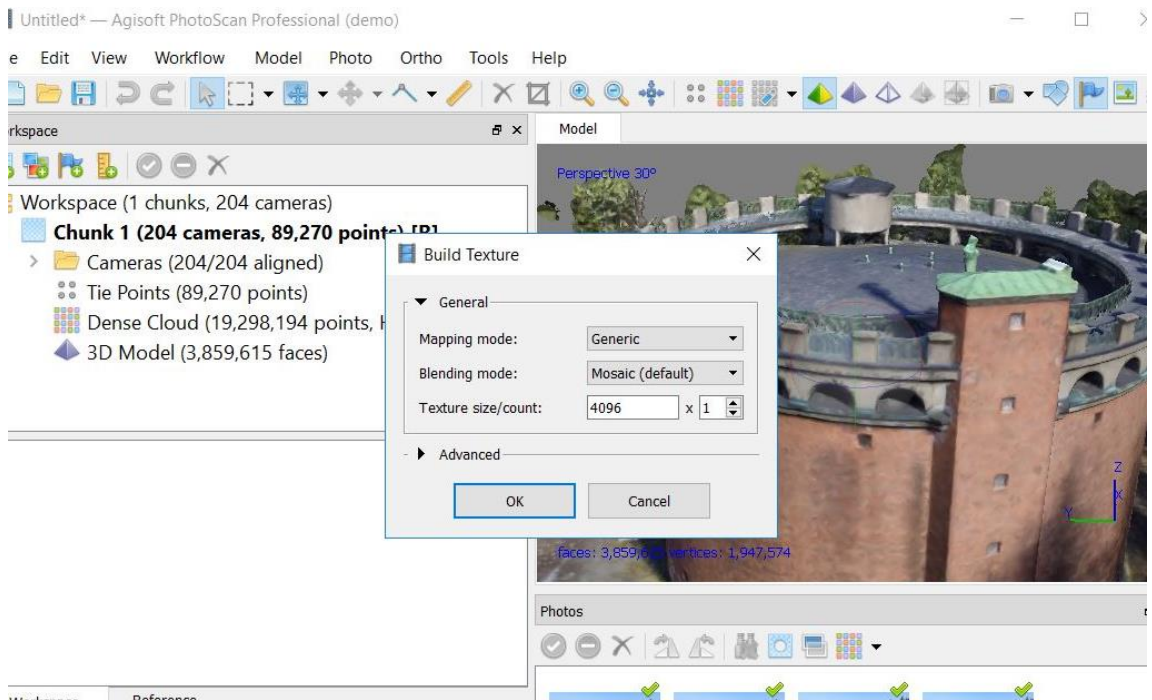


KUVVA 7.

5. Muodosta tekstuuri (Workflow/Build texture, Kuvat 8-9).



Kuva 8.



Kuva 9.