

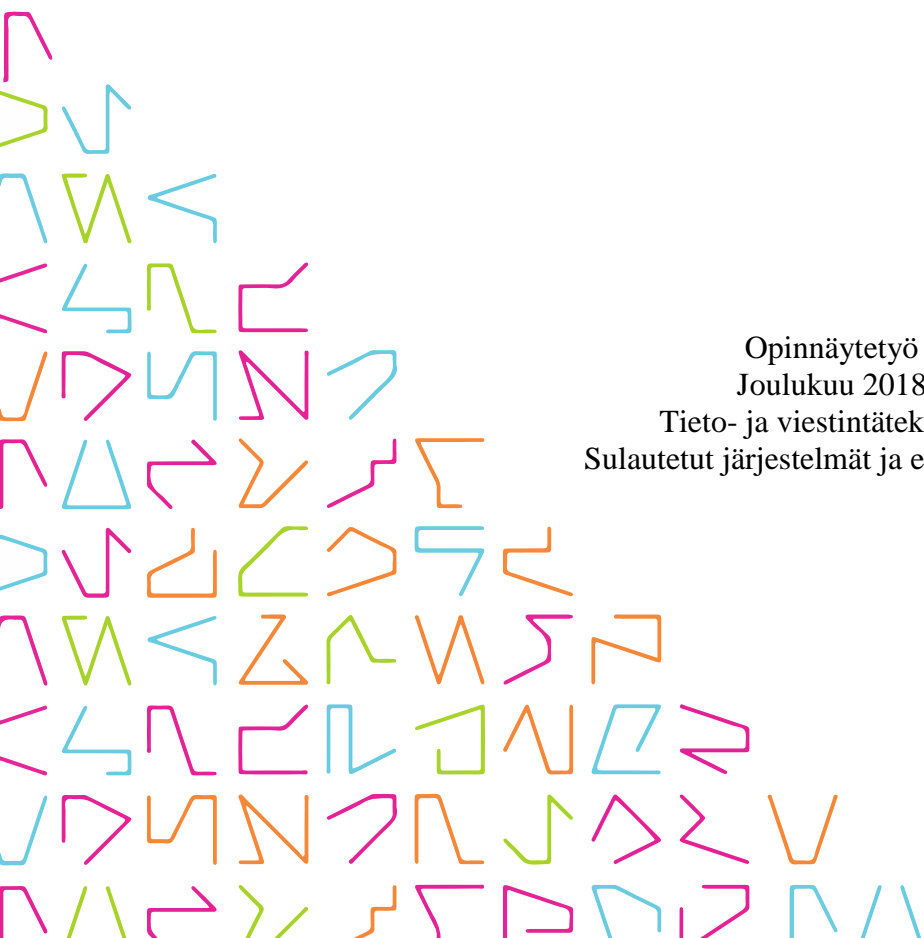


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

DRONE-KUVADATAN TUOTTAMINEN, ANA- LYSOINTI JA FOTOGRAMMETRIA

Heikki Mäki

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018
Tieto- ja viestintäteknikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintäteknikka
Sulautetut järjestelmät ja elektroniikka

MÄKI, HEIKKI:

Drone-kuvadatan tuottaminen, analysointi ja fotogrammetria
Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Joulukuu 2018

Opinnäytetyössä tutkitaan dronella suoritettavaa ilmakuvausta ja sen eri osa-alueita. Työhön kuului ennakkotutkimusta kuvauksesta ja kuvaustekniikasta sekä muutamia kenttäkokeita Pirkanmaan alueella automaattisten tarkastuslentojen työvaiheiden ja niiden haasteiden löytämiseksi. Lopullisena tavoitteena oli arvioida, kuinka työvaiheita voidaan automatisoida ja mitä osa-alueita voidaan tulevaisuudessa kehittää. Työ tehtiin Intel Finland Oy:n tukemana ja kenttäkokeista osa suoritettiin osana normaaleja työtehtäviä.

Tarkastuslentojen tulokset käsiteltiin työasema-PC:llä Agisoft Metashape -fotogrammetriatyökalulla sekä Intel Insight -pilvipalvelulla. Fotogrammetrian tavoitteena oli validoida automaattisesti kerätyn kuvadatan kelpoisuutta jälkitarkasteluun ja mittauksiin. Kenttäkokeiden lopputuloksina saatiin tärkeitä havaintoja drone- ja fotogrammetriateknologian tilasta ja automaation hyödyistä. Lisäksi tarkastuslentojen kohteista saatiin erittäin yksityiskohtaiset 3D-mallit sekä pilvipalvelusta että työpöytäsovelluksista.

Tämän työn perusteella havaittiin, että dronet sekä fotogrammetria ovat tasolla, jolla niitä voidaan käyttää tarkastuslentojen yhteydessä erittäin tehokkaasti. Kaikkien työvaiheiden automaatio on uusien pilvipalveluiden ja dronejen lentoautomaation johdosta yhä enemmän hyödynnettävissä. Algoritmit ovat kehittyneet siten, että käsin tehtävää kuvankäsittelyä ja ammattilaisten pitkää koulutusta ei enää välttämättä tarvita hyödyllisen datan tuottamisessa. Kehityskohteena ovat kuvaustekniikan ja kameroiden soveltaminen automaattiseen ilmakuvaukseen sopivaksi. Dronet eivät myöskään ole pelkkiä lentäviä kameroita vaan ne ovat joustava alusta datan keräykselle. Niihin voidaan asentaa antennoja ja sensoreita, joilla mitataan vaikkapa säteilyä ja ilmanlaatua.

Asiasanat: drone, ilmakuvaukset, automatisaatio, automaatio, fotogrammetria, pilvi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Information and Communications Technology
Embedded Systems and Electronics

MÄKI, HEIKKI:

Capture, Analysis and Photogrammetry of Drone Imagery
Bachelor's thesis 40 pages, appendices 7 pages
December 2018

Thesis's purpose was to investigate the workflow of automated aerial inspections by utilizing advanced drones, flight planning software and photogrammetry. Work consists of research phase and a practical phase where the workflow and all its steps were investigated in detail. Field experiments were conducted in Pirkanmaa area in form of inspection flights to find and document the practical challenges of these complex procedures. This thesis was composed in co-operation with Intel Finland Inc. and the field experiments were partly included in normal working tasks.

Image data from the inspections was analyzed and processed with a workstation PC using commercial photogrammetry software and Intel Insight cloud platform. Goal was to evaluate if the image quality from automated inspections is sufficient for accurate analysis and measurements. The field experiments yielded very important observations of the current state of drone and photogrammetry technologies and the benefits of automation of said subjects. Additionally, detailed digital survey maps and digital 3D copies of inspection targets were successfully generated in both cloud and desktop environments.

These results proved that the technology in drones and photogrammetry is already sufficient to be practical even when automated. Photogrammetric analysis can already be done completely automatically without human interaction which has many practical implications in the future. There's still some work to be done in the field of cameras and their suitability for completely autonomous operation to ensure the quality of datasets. Drones are suitable for much more than aerial photography. Possibilities for sensors and other data gathering equipment are vast. For example, drones can be used to measure air quality and electromagnetic or other kinds of radiation in difficult conditions or environments.

Key words: aerial photography, photogrammetry, drone, cloud, inspection, survey

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ILMAKUVAUS JA TOMINTAYMPÄRISTÖ	7
2.1	Ilmakuvaus.....	7
2.2	Lainsäädäntö ja turvallisuus.....	9
2.3	Lentosuunnittelu ja dronen valinta	10
2.3.1	Automaattinen lento	12
2.4	Kamerat ja kameran asetukset	13
2.4.1	Kuvaustekniikka.....	15
2.5	Fotogrammetria.....	16
3	LAITTEET JA TYÖKALUT	19
3.1	Drone ja kamera.....	19
3.2	PC-tietokoneet	20
3.3	Fotogrammetriatyökalut.....	21
4	KENTTÄKOKEET	22
4.1	Vesitornin tarkastuslento	22
4.1.1	Esivalmistelut.....	23
4.1.2	Lentosuunnitelma.....	23
4.1.3	Lentosuoritus ja datan siirtäminen	24
5	TULOKSET	25
5.1	Vesitorni.....	25
6	POHDINTA.....	31
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET	34
	Liite 1. Agisoft Metashapen automaattinen laaturaportti 3D-mallin tuottamisesta	34

LYHENTEET JA TERMIT

GNSS	Global Navigation Satellite System, GNSS-satelliittipaikannus
GPS	Global Positioning System, GPS-satelliittipaikannus
GSD	Ground Sampling Distance, maastonerottelukyky
RTK	Real-Time-Kinematic, reaaliaikainen kinemaattinen mittaus
UAS	Unmanned Aerial System, miehittämätön lentojärjestelmä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Intel Finland Oy:n tarpeeseen tutkia dronella eli miehittämättömällä ilma-aluksella suoritettavaa kohteen kunnan tarkastusta suoraan valokuvista sekä fotogrammetriatyökaluilla tuotetuista 3D-malleista. Tavoitteena oli tuottaa kattava selvitys kohteen tarkastukseen liittyvistä työvaiheista ja niissä huomioitavista asioista, joita ovat lennon suunnittelu, kuvaustekniikka sekä kuvadatan analysointi ja fotogrammetria. Eri-tyistä huomiota kiinnitettiin osa-alueiden tai koko prosessin automatisaatioon hyödyntäen dronen lentoautomaatiota sekä pilviprosessointia fotogrammetriassa. Tutkimuksen ei ole tarkoitus olla arviointi tuotteista tai ratkaisuista, vaan yleisesti tutkia, millä tasolla teknologia tällä hetkellä on ja mihin suuntaan se voi kehittyä.

Työn aikana suoritettiin useita tarkastus- ja kartoituslentoja Pirkanmaan alueella mukaan lukien Hiedanrannan vanha vesitorni ja sen ympäristö. Tarkastuslennoissa käytettiin maatalouteen, rakennustöihin ja energiateollisuuden tarpeisiin kehitettyä Intel Falcon 8+ UAS-järjestelmää. Fotogrammetriassa käytettiin työasemakäyttöön suunniteltua Agisoft Metashape- ja Pix4D-sovelluksia ja pilvessä toimivaa Intel Insight -palvelua, joka sisältää mahdollisuuden Pix4D- ja Bentley-fotogrammetria-analyysiin.

2 ILMAKUVAUS JA TOMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Ilmakuvaus

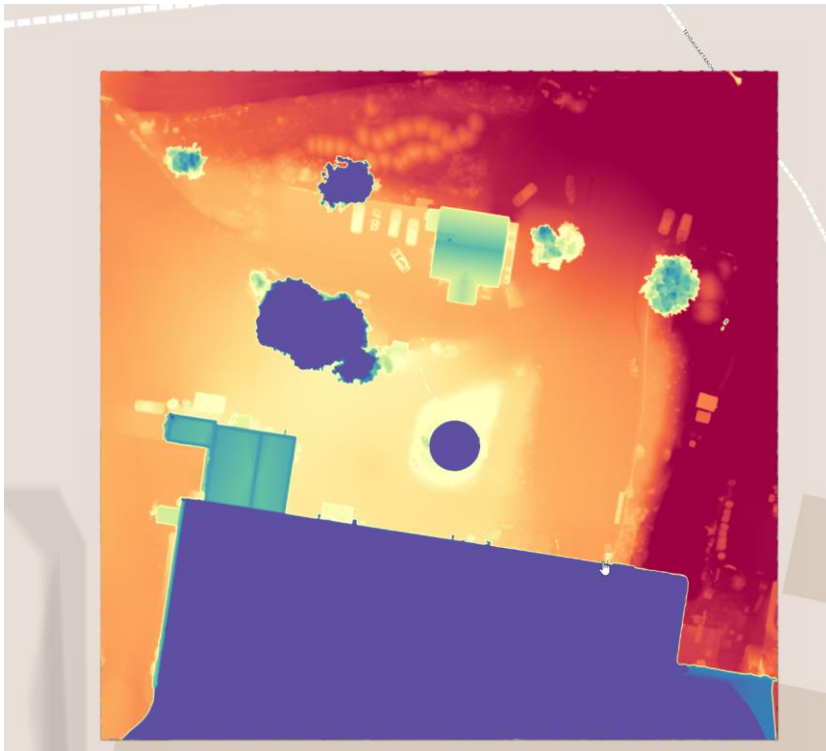
Ilmakuvauksella voidaan tarkoittaa mitä tahansa ilma-aluksesta suoritettavaa kuvausta ja ne voidaan luokitella kartoituskuvaukseen (survey) ja tarkastuskuvaukseen (inspection). Teknologian kehittymisen myötä ilmakuvausta hyödynnetään nykyään lähes kaikilla teollisuudenaloilla kuten maanviljelyssä, metsänhoidossa, rakennusteollisuudessa ja maanmittauksessa. Perinteisesti ilmakuvaukset on tehty lentokoneista ja helikoptereista ilman mainittavaa automatiikkaa. Tästä johtuen ilmakuvat ovat olleet kalliita ja niiden tuottamiseen liittyy kaikki miehitettyyn ilmailuun liittyvät riskit ja rajoitteet. Kameroiden ja ilmailuteknologian kehitys on mahdollistanut siirtymisen turvallisempien ja ratkaisevasti edullisempien miehittämättömien järjestelmien käyttöön.

Ilmakuvaukseen kuuluvat myös edellä mainitut ilmassa suoritettavat tarkastuskuvaukset, joissa tavoitteena on saada kuvamateriaalia paikoista, jotka ovat vaikeapääsyisiä tai vaarallisia kuten korkeat mastot, tornit ja voimalinjat. Tarkastuskuvauksessa tuotetun datan avulla kohteesta voidaan rakentaa digitaalinen kopio, josta voidaan seurata esimerkiksi voimalinjojen päätteiden ja pylväiden kuntoa. Tässä tutkimuksessa keskitytään nimenomaan tarkastuslentoihin.



KUVA 1. Kuva Hiedanrannan tarkastuslennolta

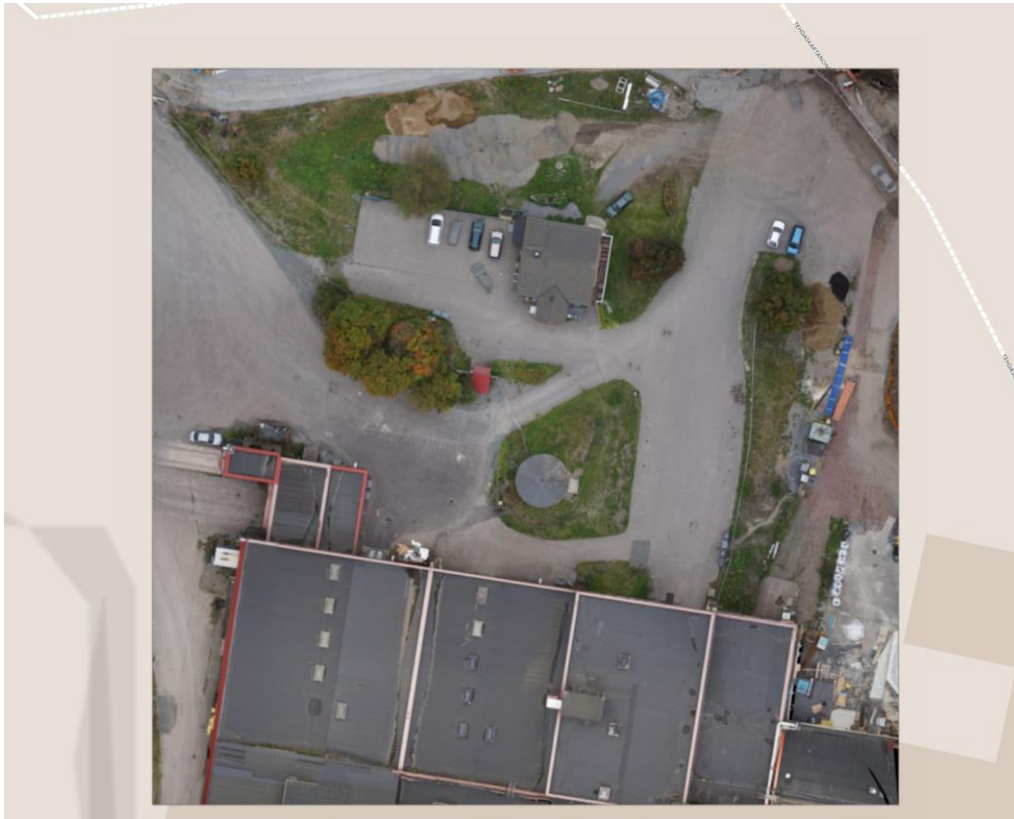
Kartoituskuvausella tarkoitetaan useimmiten kuvauslentoa vakiokorkeudella, jossa tavoitteena on saada kohdealueesta kattava ja maantieteellisesti tarkka kokonaiskuva. Eri-laisia kameroita ja jälkikäsitteilyä hyödyntäen ilmakuvista voidaan tuottaa lähes loputon määrä hyödyllistä dataa, kuten ajankohtaisia tiekartastoja ja korkeus- ja maastokarttoja. Ilmakuvausdatasta voidaan fotogrammetrian avulla muun muassa tehdä alue- ja tilavuusmittauksia esimerkiksi soraomtuilla, rakennustyömailla ja kaivosalan työmailla. Kuvissa 2 ja 3 on esimerkit kartoituslennon lopputuloksista. Digitaalinen pintakartta auttaa tämän työn tapauksessa tarkastuslentojen suunnittelussa, ja kuvan 3 kuvamosaiikkia voidaan käyttää esimerkiksi korvaamaan heikkolaatuisia satelliittikuvia karttapalveluissa.



KUVA 2. Digitaalinen pintakartta Hiedanrannan tarkastuslennon alueelta

Tarkka paikannus on tärkeä osa ilmakuvausta. Lähes kaikki ilma-alukset suunnistavat GPS- tai GNSS-satelliittipaikannuksen avulla, ja tällä päästäänkin usein tarvittavaan tarkkuuteen, joka on yleensä noin metrin luokkaa. Lisätarkkuutta lentoon saadaan käyttämällä kalliimpia GPS-järjestelmiä mutta useimmiten tukeudutaan paikannuksen korjaukseen joko jälkikäsitteilyssä tai RTK-järjestelmän käyttöön. RTK-järjestelmä perustuu tarkasti paikannetun pisteen hyödyntämiseen siten, että tarkkaan pisteeseen sijoitetaan tukiasema,

joka lähettää korjausdataa esimerkiksi ilma-alukselle. Paikannus tapahtuu siis ilma-aluksen ja tarkassa pisteessä sijaitsevan tukiaseman välillä, jolloin paikannuksessa tapahtuva virhe on metrien sijasta jopa alle senttimetrin tasoa.



KUVA 3. Kuvamosaiikki kartoituslennolta

2.2 Lainsäädäntö ja turvallisuus

Miehittämättömät ilma-alukset ja lennokit luokitellaan Suomen ilmailulaissa lentoonläh-
tömassan mukaan, ja niitä koskevat omat lakinsa. Ilmailulaki koskee kauko-ohjattuja
ilma-aluksia, joiden massa ylittää 250 g ja joita lennätetään ulkotiloissa. Valvontaa ja
määräyksiä hallinnoi Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. (TRAFI/
90924/03.04.00.00/2016, 1)

Miehittämätön ilma-alus on ilma-alus, joka on tarkoitettu käytettäväksi ilman mukana
olevaa ohjaajaa. Miehittämättömät ilma-alukset on usein myös varustettu jotain tiettyä
tehtävää, kuten esim. valokuvaamista tai mittaamista varten. Miehittämättömien ilma-
alusten alakategoria kauko-ohjatut ilma-alukset ovat miehittämättömiä ilma-aluksia, joita
ohjaa kauko-ohjaaja (remote pilot) tai joiden toimintaan kauko-ohjaaja pystyy tarvittaessa
puuttumaan. (TRAFI/ 90924/03.04.00.00/2016, 2)

Lennätettäessä on noudatettava ilmailulaissa määrättyjä rajoituksia, kuten lentokieltoalueita ja miehittämättömiltä ilma-aluksilta erikseen kiellettyjä alueita. Suurin sallittu korkeus miehittämättömälle ilma-alukselle on 150 metriä, mutta alle 5 kilometriä lentoasemasta lennätettäessä suurin sallittu lentokorkeus on 50 metriä. (Trafi 2017)

Dronea lennätettäessä tulee ottaa huomioon yleiset järjestyssäännöt ja ulkopuoliset ihmiset. Ilmakuvaamista koskee sama yksityisyydensuoja, kotirauha ja tietosuoja, kuin muutakin valokuvaamista. Lentoonlähtömassaltaan enintään 7 kg:n ilma-aluksen lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutun osan ja väkijoukkojen päällä vaatii käyttäjältä kirjallisen turvallisuusarvioinnin ja toimintaohjeistuksen normaalitoiminnassa ja häiriötilanteissa. (TRAFI/ 90924/03.04.00.00/2016, 5)

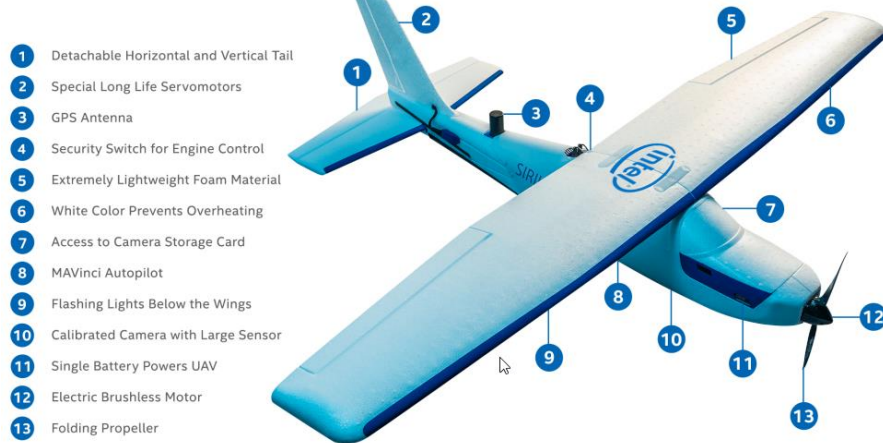
2.3 Lentosuunnittelu ja dronen valinta

Lentosuunnittelussa on otettava huomioon ilmatila, käytettävä ilma-alus, ympäristö ja kuvattava kohde. Ilmatilat voi tarkistaa verkosta vapaasti saatavilla olevista ilmailukartoista. Useissa nykyaikaisissa droneissa on järjestelmiä, jotka estävät lentämisen tunnetuilla tai valmistajan erikseen määrittelemillä lentokieltoalueilla.

Käytettävä ilma-alus valitaan käyttökohteen mukaan. Hyvä tapa lähestyä valintaa on pohdita, mitä dronelta ei vaadita. Esimerkiksi laajojen alueiden ilmakuvaukseen dronen ei tarvitse pystyä leijumaan paikoillaan kovassa tuulella, navigoimaan ahtaissa paikoissa tai kääntämään kameraa ylöspäin. Tässä tapauksessa paras valinta on kiinteäsiipinen, lentokonetyypin drone (kuva 4), jonka lentoaika on multikopterin 15-30 minuutin sijasta jopa useita tunteja.

Kartoituslennon suunnittelussa tärkeimmät osa-alueet ovat lentokorkeuden määrittäminen kameran ja tarvittavan resoluution mukaan ja nousu- ja laskeutumisalueen valinta. Datapaketin georeferointi on otettava huomioon, jos karttakuvien täytyy sitoutua koordinaatteihin tai niistä täytyy tehdä mittauksia. Tämä tarkoittaa sitä, että kartoitettavalla alueella tulee olla ennalta mitattuja tunnettuja maapisteitä (Ground control points), joiden koordinaatit tunnetaan.

Intel Sirius™ Pro UAV



KUVA 4. Kiinteäsiipinen drone (Intel Sirius Pro UAV, Intel Corporation. 2018)

Lähellä maan pintaa tehtävät tarkastuslennot vaativat useimmiten tarkempia kuvia läheltä kohdetta, jotta kuvien tarkkuus riittää pientenkin pintavaurioiden havaitsemiseen. Tähän tarkoitukseen vaaditaan täysin erityyppinen laite, joka pystyy esimerkiksi pitämään muutamien metrien etäisyyden kohteeseen jopa heikon GPS-signaalin kanssa. Useimmiten tämä tarkoittaa kuvan 5 tyyppistä multikopteria eli moniroottorista helikopterin tapaan lentävää dronea.

Tarkastuslennon suunnittelussa on kartoituslentoon verrattuna usein enemmän muuttujia, kuten esimerkiksi kuvauspaikalla olevat ajoneuvot. Monimutkainen tarkastuslento voi pitää sisällään ahtaita paikkoja, jotka vaativat tarkkaa ohjausta, kokenutta lennättäjää ja kykyä toimia heikossa GPS-ympäristössä.

Intel® Falcon 8+

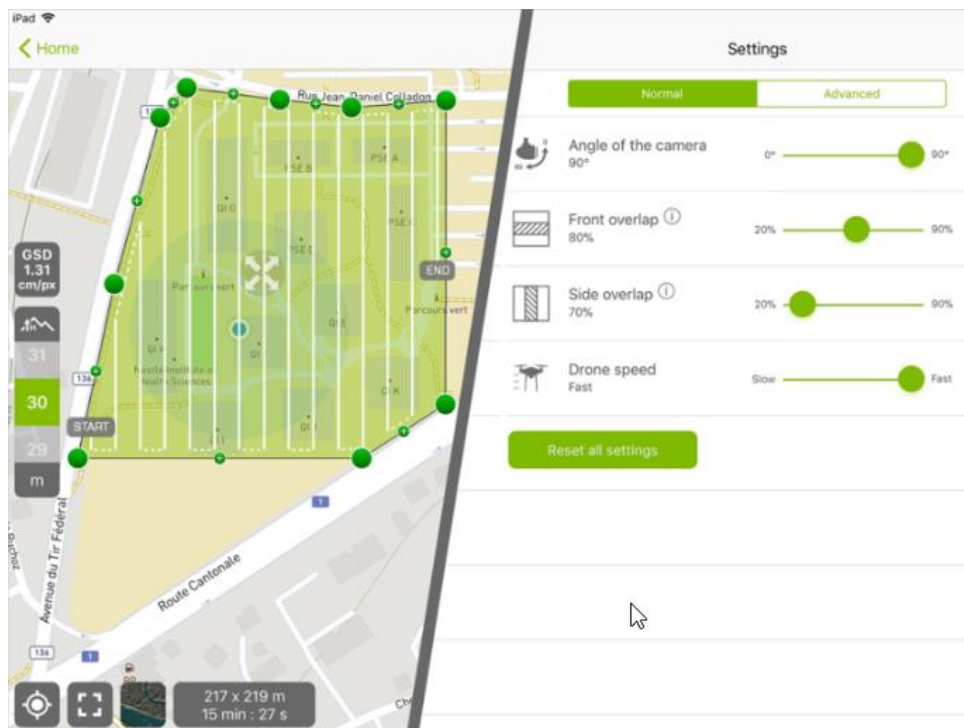


KUVA 5. Moniroottorinen drone (Intel Falcon 8+ Drone, Intel Corporation. 2018)

Koska ilmakuvaamista koskee sama lainsäädäntö ja säännöt kuin mitä tahansa muutakin kuvaamista, tulee käyttäjän kiinnittää suunnittelussa erityistä huomiota siihen, että kuviin sisältyy herkemmin alueita, joissa kuvaaminen on kiellettyä tai luvanvaraista. Tämä on erityisen tärkeää kartoituslennoissa, joissa kuvauksen asianomistajalla täytyy olla tiedossa, kenellä on pääsyoikeus kuvamateriaaliin.

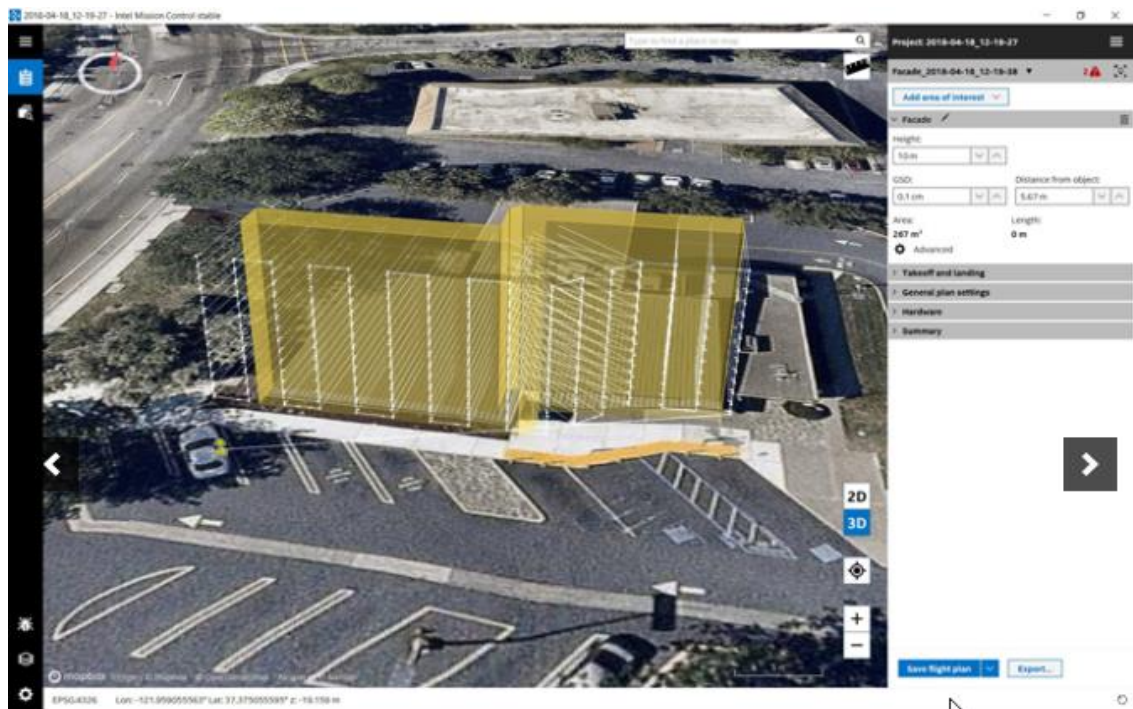
2.3.1 Automaattinen lento

Automaattilento on laaja käsite, jolla voidaan tarkoittaa eritasoista automaatiota sisältävää lentosuoritusta. Automaatio voi koskea kuvauksen avustusta, operaattorin lentovirheiden korjausta tai lennon ja kuvauksen täyttää automatisointia. Useimmat markkinoilta löytyvät droneille kehitetyt lentoautomaatio-sovellukset sisältävät automaattisen kuvanlaukaisun ja jonkinasteisen automaation kartoituslennolle, kuten vakiokorkeudella lennettävän ristikon. Erittäin suosittu kuluttajille ja teollisuudelle suunnattu sovellus on kuvassa 6 näkyvä Pix4Dcapture. Muita saman tyyppisiä sovelluksia ovat DJI FlightPlanner, Litchi ja DroneDeploy. Suurin osa sovelluksista on suunniteltu käytettäväksi dronen ohjaimen kanssa yhteensopivilla mobiililaitteilla, kuten älypuhelimella tai taulutietokoneella.



KUVA 6. Kuva Pix4Dcapture -sovelluksen esittelysivulta (Pix4Dcapture, 2018)

Kehittyneempiä lentosuunnitteluun ja siinä tuotetun datan käsittelyyn tarkoitettuja ohjelmistoja on kehitteillä useita, ja esimerkiksi teollisuuden käyttöön suunniteltu, testivaiheessa oleva Intel Mission Control -sisältää ominaisuuden suunnitella monimutkaisia kolmiulotteisia tarkastuslentoja. Intel Falcon 8+ lentää Intel Mission Control -sovelluksella suunnitellut lennot automaattisesti. Automatisoinnin etuihin lukeutuvat dronen käytön ja lennon toistamisen helpottuminen sekä lentoreitin ja kuvadatan tuottamisen optimointi. Tässä työssä lennot suoritettiin pääosin automaattisesti Intel Mission Control -ohjelmiston avulla. (Intel Unveils Drone Software Solutions... 2018)



KUVA 7. Markkinointikuva Intel Mission Control -sovelluksesta (Intel Newsroom, Intel Corporation 2018)

2.4 Kamerat ja kameran asetukset

Erityyppisiin ilmakuvauksiin on saatavilla monentyypisiä kameroita aina huipputarkoista mustavalkokameroista syvyysnäköön kykeneviin stereokameroihin ja lämpökameroihin. Maataloudessa voidaan tarvita multispektrikameraa, jolla on mahdollista nähdä pitkälle UV- ja infrapuna-alueelle. Tämän työn käyttötarkoituksiin riittää perinteinen näkyvän valon spektrin havaitseva järjestelmäkamera.

Dronella kuvattaessa täytyy ottaa huomioon perinteisen valokuvaamisen perusasioiden lisäksi se, että kamera on ilmassa, eikä pysy paikoillaan. Useimmissa droneissa kameran

vakautukseen käytetään moniakselista mekaanista vakainta, jossa dronen pieni heilunta ja moottoreiden aiheuttama värinä ei johdu kameraan. Tästäkin huolimatta kamera on jatkuvassa liikkeessä ja tätä täytyy kompensoida lyhentämällä valotusaikaa. Hyvän ja tasaisen kuvanlaadun saavuttamiseksi kameran säätöjen täytyy olla kunnossa lennon alusta loppuun asti. Kameran asetukset tulee säätää kuvauspaikalla kuvausolosuhteisiin sopiviksi. Tärkeimmät säädöt ovat aukon koko, suljinaika, tarkennus ja ISO-arvo, joista ilmakuvauksessa herkimmin epäonnistumisen aiheuttaa liian pitkä suljinaika.

Suljinaika eli valotusaika tarkoittaa sitä, kuinka kauan kameran suljin on auki ja sensori kaappaa valoa itseensä. Yksinkertaistettuna pidempi suljinaika vaatii vakaampaa kuvasta mutta kuvasta tulee valoisampi. Dronella kuvattaessa suljinajan tulee olla lyhyempi kuin jalustalta tai käsin kuvattaessa. Liian pitkän suljinajan oire on kuvan niin sanottu tärähtäminen. Tämä on helposti nähtävissä DJI Mavic 2 Pro:lla otetussa kuvassa 8.



KUVA 8. Kuva näyttää tärähtäneeltä, jos suljinaika on liian pitkä.

Kameran aukko tarkoittaa sitä, kuinka suuren aukon läpi valoa päästetään kameran kenolle. Kamerassa aukon kokoa ilmaistaan f-arvolla tai f-stop arvolla. F-arvo on kärjistettynä kääntäen verrannollinen läpi päästettävän valon määrään. (Kamerakoulu.fi 2013)

Tarkennus sitoutuu osittain aukkoon eli f-asetukseen. Kameran linssin syvyysterävyysalue eli alue, jolla kuva on terävimmillään, pienenee, kun aukon kokoa suurennetaan. Aukko tulee täten säätää siten, että kuva pysyy tarkkana ilman että valoisuus kärsii liikaa. (Kamerakoulu.fi 2013)

ISO-arvo ilmaisee sitä, kuinka herkkä kameran kenno on valolle. Tämä on helppo mutta kallis tapa säätää kuvien kirkkautta. Kasvattamalla ISO-arvoa kuva kirkastuu, mutta siihen tulee myös hyvin herkästi paljon kohinaa. Yksityiskohtia kuvattaessa ISO-arvon tulee olla niin pieni kuin mahdollista, koska pienikin kohina voi pilata muuten onnistuneen kuvan. (Kamerakoulu.fi 2013)

Lyhyesti ja yksinkertaistettuna aukko, ISO-arvo ja suljinaika määräävät kuvan valoisuuden ja selkeyden. Dronella kuvattaessa suljinajan on hyvä olla 1/100 sekuntia tai nopeampi. Aukko ja ISO-arvo tulee tasapainottaa siten, että kuvan tarkkuus on riittävä ja ISO-arvo voidaan asettaa mahdollisimman pieneksi. (Kamerakoulu.fi 2013)

2.4.1 Kuvaustekniikka

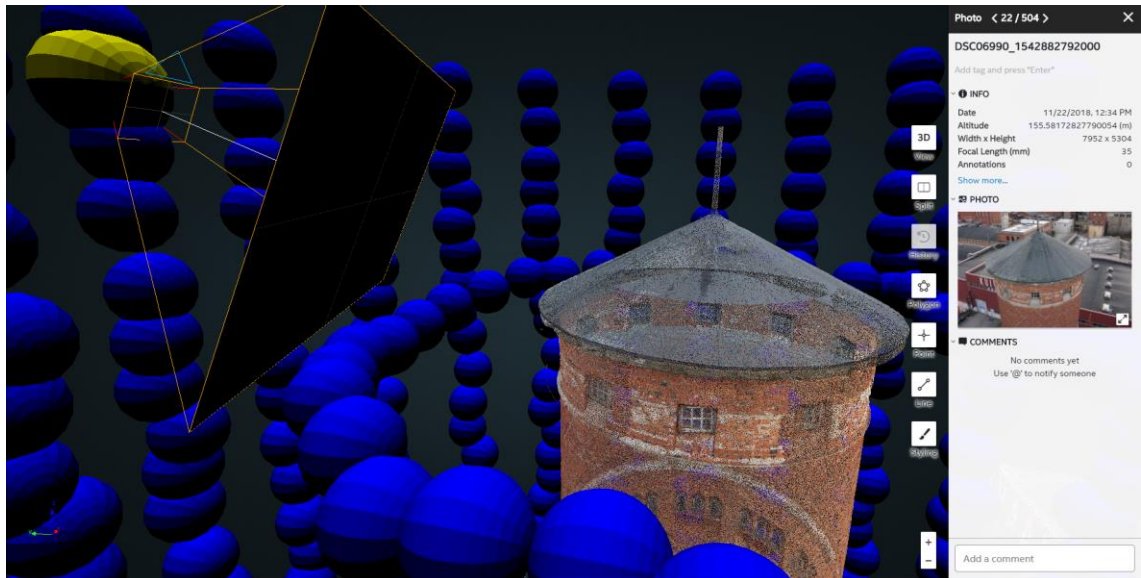
Ilmakuvauksen kuvaustekniikassa tärkeitä asioita ovat kuvien päällekkäisyys, GSD (Ground Sampling Distance) eli kuvapisteen suhteellinen koko maassa, alueen kattavuus ja kuvattavan kohteen rajaaminen. Näihin osa-alueisiin voidaan vaikuttaa lennon suunnitteluvaiheessa tai rajoitetusti lennon jälkeen analyysivaiheessa. Varsinkin kuvien rajaaminen halutulle alueelle on tärkeää tehdä jo suunnitteluvaiheessa, koska ylimääräinen kuvadata vaikeuttaa jälkikäsitteilyä ja kasvattaa datan määrää tarpeettomasti.

Päällekkäisyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka paljon samaa aluetta vierekkäiset kuvat sisältävät. Hyvä päällekkäisyysarvo kartoitukseen on maastonmuotojen ja yksityiskohtien määrystä riippuen 70-85%. Suuremmalla päällekkäisyydellä kartan laatu paranee, mutta tallennettavan ja käsiteltävän datan määrä kasvaa huomattavasti.

GSD on maastonerottelukyvyn mittayksikkö, joka kertoo, kuinka pieniä yksityiskohtia kuvattavasta kohteesta voidaan havaita. Kartoituskuvauksessa GSD-arvo voi olla muutamia senttimetrejä vaikkapa 2 cm/pikseli. Tällaisella arvolla yhden pikselin koko koh-

teessa on 4 neliösenttimetriä. Teoriassa GSD:n voi laskea kameran efektiivisen erottelukyvyn ja kohteen etäisyyden perusteella, mutta verkossa on laskureita, joihin kameran ominaisuudet syöttämällä voidaan laskea lentokorkeuden ja GSD:n suhde. (Pix4D 2011)

Kuvien rajoittaminen vain haluttuun kohteeseen on hyvin tärkeää varsinkin tarkastuslentojen fotogrammetrisen analyysin osalta. Nykyisin saatavilla olevat algoritmit ja ohjelmistot ovat hyvin tarkkoja niihin syötetyn kuvamateriaalin suhteen. Erityisesti virheitä analysoinnissa aiheuttavat kuvat, joissa kohdetta on kuvattu taivasta vasten tai kuvissa näkyy halutun kohteen lisäksi runsaasti taustaa. Tämä ongelma ratkaistaan siten, että kuvat otetaan mahdollisuuksien mukaan alaviistoon kuten kuvassa 9, ja tästä poiketaan vain silloin, kun tarvitaan yksityiskohtaisia lähikuvia esimerkiksi räystään kohdalta niin kuin kuvassa 1.



KUVA 9. Tarkastuslennossa on kuvattu 25 astetta alaviistoon. Siniset pallot ovat kameran paikkoja.

2.5 Fotogrammetria

Sana fotogrammetria tarkoittaa kuvista tehtävää mittausta. Tieteenalaan ja sen perusperiaatteisiin on perehdytty jo renessanssin aikaan. Perusperiaate on se, että jos valokuvan perspektiivi eli etäisyys ja kulma kohteeseen on tunnettu, voidaan pienestä kuvasta tehdä mittauksia tosielämän kohteista. (History of photogrammetry. The Center for Photogrammetric Training)

Nykyaikainen fotogrammetrinen analyysi rakentaa kuvatusta kohteesta tai alueesta digitaalisen kopion, jota voidaan käsitellä ja mitata tehokkaan tietokoneen avulla. Yksinkertaistettuna fotogrammetriaohjelmisto käy läpi jokaisen syötetyn kuvan ja etsii niistä yhteisiä pisteitä, joiden perspektiivin mukaan piste ja kameran paikka asetetaan kolmiulotteiseen koordinaatistoon. Tätä operaatiota toistetaan tuhansia tai jopa satoja tuhansia kertoja ja lopputuloksena syntyy fotogrammetrialle oleellinen osa nimeltään pistepilvi, joka on näkyvissä kuvissa 9, 10 ja 11. Pistepilvi on lähtökohta, jonka perusteella kolmiulotteinen karttakuva muodostetaan.



KUVA 10. Taivaan aiheuttamaa kohinaa pistepilvessä

Fotogrammetriaan käytettävillä kuvilla on peruslaatuvaatimuksia. Kuvien täytyy ensinnäkin olla oikein tarkennettuja, kohteeseen hyvin suunnattuja ja käytetyn kameran tiedot, kuten linssin polttoväli, tulee olla tiedossa. Kuten kuvaustekniikassa kerrottiin, tarkastuslennoissa taivasta vasten kuvaamista tulee välttää. Näissä kohteissa taivas sekoittuu usein ohuiden rakenteiden väliin ja pistepilveen muodostuu taivaan väristä kohinaa, joka on näkyvissä kuvassa 10. Toinen haitta tästä on se, että pistekarttaa muodostetaan kohteen ulkopuoliseltakin alueelta, kuten kuvissa 10 ja 11, joka hidastaa tuloksen valmistumista jopa päivillä. Osa ohjelmistoista sisältää mahdollisuuden lisätä kuviin maskin, jolla ylimääräinen osa kuvasta jätetään huomioimatta ilman että kuvan dimensiot muuttuvat. Myös prosessoinnin aluetta voidaan rajoittaa, mutta tämä täytyy usein tehdä käsin sen jälkeen, kun kuvat on maantieteellisesti paikannettu.



KUVA 11. Pistepilveä on tuotettu massiivinen määrä kuvattavan kohteen (merkitty punaisella) ulkopuolelta.

Fotogrammetria on laskennallisesti erittäin raskas ja vaativa prosessi, joten nykyään monissa ohjelmistoissa on mahdollisuus pilvessä suoritettavaan laskentaan. Pilvipalveluissa käsittely on raa'an datan määrän ja työkalujen monimutkaisuuden vuoksi huomattavasti rajoitetumpaa kuin työpöytäsovelluksissa. Tämä vuorostaan korostaa kuvadatan laadun merkitystä. Hyvin tuotettu kuvasarja tuottaa mittauksiin ja tarkastuksiin kelvollisia tuloksia jopa ilman käsin tehtäviä korjauksia. Tämä avaa myös mahdollisuuden koko prosessin automatisointiin aina lennon suorittamisesta tulosten ja raporttien tuottamiseen.

3 LAITTEET JA TYÖKALUT

3.1 Drone ja kamera

Työssä käytettiin pääosin Intelin omaa Falcon 8+ -järjestelmää. Intel Falcon 8+ UAS on ammattilaiskäyttöön suunniteltu kuvausdrone, jonka pääominaisuuksiin kuuluvat useat ammattitason kameran sisältävät hyötykuormat, kattava lentoautomaatio ja kolminkertainen varmistus lennonohjauksessa. Kolminkertainen varmistus tarkoittaa sitä, että drone sisältää kolme itsenäistä redundanttia lennonohjausyksikköä, joista turvalliseen lentoon tarvitaan vain yksi. Kahdella täyteen ladatulla akulla lentoaika Falcon 8+:lla on noin 16 minuuttia kerrallaan. Akut toimivat toisistaan riippumattomasti, ja ne voidaan vaihtaa yksi kerrallaan sammuttamatta järjestelmää mahdollistaen pitkienkin lentojen suorittamisen käytännössä tauotta. Dronen sisäänrakennetun GPS:n tarkkuus on noin metrin luokkaa, mutta järjestelmässä on yhteensopivuus RTK-avusteiselle paikannukselle, jonka avulla lento ja kuvanpaikannustarkkuus saadaan muutamaa senttimetriin. Tarkastuslentojen vaikeiden GPS-olosuhteiden vuoksi RTK-paikannusta hyödynnettiin kaikissa tilanteissa. (Intel Falcon 8+ System. Intel Corporation; Intel Falcon 8+ User Manual 2018)

Falcon 8+ sisältää tuen muutamalle eri kameralle hyötykuormapakettien muodossa. Kyseiseen droneen on mahdollisuus yhdistää Sonyn valmistamia ammattitason järjestelmäkameroita sekä erikoiskäyttöön tarkoitettu FLIR:n valmistama infrapunakamera. Hyötykuorma muodostuu mekaanisesta vakainjärjestelmästä, joka suodattaa servomoottoreiden avulla dronen rungon värinän ja liikkeen pois kamerakuvasta. Tämä mahdollistaa myös kameran kulman säätämisen pystyakselilla 220 asteen liikeradalla yhden asteen resoluutiolla. (Intel Falcon 8+ System. Intel Corporation; Intel Falcon 8+ User Manual 2018)

Kamerana Falcon 8+:ssa käytettiin 42 megapikselin Sony Cyber-shot RX1R II -täyskenonokameraa. Tämä kamera on ammattilaiskäyttöön suunniteltu kompakti järjestelmäkamera kiinteällä 35 mm polttovälin objektiivilla. Kuvat otettiin JPEG-kompressiolla kiinteällä tarkennusasetuksella. Kameran asetukset säädettiin käsin kuvausolosuhteisiin sopiviksi. Myös tarkennus asetettiin sopivaksi lentosuunnitelmassa määritellylle lentoetäisyydelle. Kuvasarjan tasaisen laadun varmistamiseksi kameran automaattitarkennus kytkettiin pois päältä.

3.2 PC-tietokoneet

Suunnitteluun ja fotogrammetriaan käytettiin PC-tietokoneita ja Intel Insight -pilvipalvelua. Lentosuunnitelmat tehtiin Intel Mission Control -ohjelmistolla, joka mahdollistaa lennon yksityiskohtaisen suunnittelun digitaaliselle kolmiulotteiselle karttapohjalle. Lentosuunnitelma muodostuu siten, että ensin tarkastettava kohde paikannetaan koordinaattien tai kartan perusteella, jonka jälkeen valitaan kohteeseen sopiva lentotyyppi. Näitä ovat muun muassa julkisivu, masto tai erilaiset kartoitusmatriisit. Tornin tapauksessa tornin keskikohta paikannetaan kartalta ja ohjelmaan syötetään parametreiksi tornin säde, korkeus ja haluttu maaerottelukyky tai kuvausetäisyys.

Fotogrammetria on tallennustilan laskennan kannalta erittäin vaativa prosessi, joten tähän tarkoitukseen käytettiin tehokasta työasema-PC:tä, jonka komponentit on listattu taulukossa 1. Hiedanrannan vesitornin tarkastuslennossa kuvia on noin 500, joka yhteensä tarkoittaa noin 7 gigatavun verran kuvadataa. Prosessoinnin aikana kaikki kuvat ladataan keskusmuistiin, ja niistä muodostetaan rinnakkaista prosessointia hyödyntäen pistepilviä, joten keskusmuistin ja grafiikkasuorittimen puskurimuistin käyttö on erittäin suurta. 3D-mallin, tekstuurin ja pistepilven yhteiskoko tällaisella kuvamäärällä on noin 50-80 gigatavua, joista suuri osa täytyy mahtua keskus- ja grafiikkamuistiin, joten käytetty 64 gigatavun keskusmuisti loppui kesken. Ongelma ratkaistiin madaltamalla laatuasetuksia.

TAULUKKO 1. Työasema-PC:n tekniset tiedot

Keskussuoritin	4-ytiminen Intel Core i7 7700K (8 säiettä)
Grafiikkasuorittimet	NVIDIA GTX 1080 Ti. 11GB GDDR5X
Keskusmuisti	64 GB DDR4
Massamuisti	512 GB NVME PCI-E kiintolevy

Kuvadatan suuri määrä tulee ottaa huomioon paikallisen prosessoinnin lisäksi myös pilvipalveluiden hyödyntämisessä. Tarkastuslennon 7 gigatavun kokoisen kuvasarjan lataaminen pilveen kestää tavanomaisella koti-internetyhteydellä liki kaksi tuntia ja tukkii lähetyskaistan käytännössä kokonaan. Melko tavallinen tarkka kartoitus sisältää tuhansia kuvia ja kuvat otetaan kameran raakatalennuksella, dataa voi näin olla jopa satoja gigatavuja. Tällaisen määrän käsittely yhdellä työasemalla tai tavallisella internetyhteydellä on käytännössä mahdotonta.

3.3 Fotogrammetriatyökalut

Työpöytäsovelluksena fotogrammetriaan käytettiin pääasiassa Agisoft Metashape Professional -ohjelmistoa, joka on ammattikäyttöön suunniteltu sovellus, jolla tuotetaan tarkkoja 3D-rekonstruktioita joko valokuvista, videoista tai muualla tuotetuista pistepilvistä. Metashape voi olla kokemattomalle käyttäjälle hieman vaikea, mutta vapaasti saatavilla oleva käyttöohje on erinomainen apu. Agisoft on tarjonnut versiosta 1.5 lähtien koekäyttöön pilviprosessoinnin. Tässä työssä ei tätä kokeellista ominaisuutta käytetty.

Toinen käytetty ohjelma on Pix4DMapper. Tämä ohjelmisto eroaa perustoiminnoiltaan käyttöliittymää lukuun ottamatta hyvin vähän Agisoft Metashapesta sen tuottaessa samantyyppisiä pistepilviä ja 3D-malleja ainakin kartoituslentojen osalta. Lisäksi Pix4D tarjoaa asiakkaille helppokäyttöisen pilvipalvelun web-käyttöliittymällä, jonne asiakas voi ladata dataa prosessointia varten. Kuten olettaa saattaa, pilvipalvelun prosessointiin ei voi juurikaan vaikuttaa ja tarkastuslentojen tulokset voivat olla kuvien laadusta riippuen korkeintaan välttäviä. Vahvuutena Pix4D sovelluksissa on kartoituslentojen tulosten tuottaminen helposti ja nopeasti. Koska työssä keskityttiin tarkastuslentoihin Pix4DMapper:n tuloksiin ja niiden analysointiin ei käytetty juurikaan aikaa.

Intel Insight -pilvipalvelussa on vaihtoehdot fotogrammetriseen prosessointiin käyttäen Pix4D- ja Bentley-algoritmeja. Pix4D:n tuloksissa ei ole eroa työpöytäsovelluksen ja pilviprosessoinnin välillä. Bentley-algoritmi on suunniteltu tarkkojen pistepilvien ja 3D-mallien muodostamiseen ja täten tuottaa erittäin käyttökelpoisia tuloksia vaatien käyttäjältä pelkästään koordinaatein varustettujen kuvien lataamisen palveluun. Bentley ei kirjoitushetkellä tarjoa mahdollisuutta tuottaa kuvista kuvamosaiikkia tai korkeuskarttaa.

Huomattavia eroja ohjelmistojen välillä ovat muun muassa ne, että Metashape tuottaa huomattavasti tiheämpiä pistepilviä joiden tarkkuus on suoraan verrannollinen kuvien määrään ja niiden peittävyys. Pix4D sen sijaan tuottaa erittäin nopeasti ja helposti hyvälaatuisia korkeuskarttoja sekä kuvamosaiikkeja.

4 KENTTÄKOKEET

4.1 Vesitornin tarkastuslento

Tarkastuslennon kohteeksi valikoitui Tampereen Hiedanrannan 1918 valmistunut vesitorni. Kohteena vesitorni on kiinnostava sen iän, pinnanmuotojen ja niiden moninaisuuden vuoksi. Katolla oleva antenni on myös hyvä testikohte ohuesta yksityiskohdasta tarkastuskohteessa. Tiiliseinä on erinomainen kohde tarkastuslennon arvioimiselle sen pinnassa olevien yksityiskohtien vuoksi. Tarkoituksena oli selvittää voiko automaattilennon avulla löytää tiilistä ja niiden välisestä laastista halkeamia, irtonaisia paloja ja muita vaurioita. Samalla pinnan epätasaisuus ja väri antavat mahdollisuuden vertailla fotogrammetriassa käytettyjä syvyysuodatustasoja ja 3D-mallin yksityiskohtia.



KUVA 12. Kuva kesällä tehdystä kokeilusta Falcon 8+ -järjestelmällä.

Haasteena minkä tahansa korkean rakennelman tarkastuksessa on luonnollisesti korkeiden paikkojen lisäksi tuuli. Korkeiden rakennusten päällä on usein myös antennia, joiden mahdolliset signaalit on pakko ottaa huomioon. Tästä esimerkkinä toimii aikaisemmin tänä vuonna kohteena ollut Tampereen Hervannan vesitorni, jonka tarkastuksen yhtey-

dessä katolla sijaitsevien antennien signaalit häiritsivät dronen datayhteyksiä ratkaisevasti. Hiedanrannan vesitornin seinästä tehdusrakennuksen metalliseinään on alle kymmenen metriä, mikä aiheuttaa GPS-signaalien heijastumista ja tämä vuorostaan häiritsee dronen sisäisen GPS-vastaanottimen tarkkuutta. Tämä tuo tarpeen RTK-avusteiselle paikannukselle.

4.1.1 Esivalmistelut

Tarkastusten ja kartoitusten lennot suunniteltiin järjestelmällisesti ja aikaa säästämättä monen työvaiheen kautta. Ensimmäisenä vaiheena oli dronen sisäisen GPS-paikannuksen avulla suoritettu kartoituslento alueella. Tästä kartoituslennosta tuotettiin Intel Insight -palvelun Pix4D-prosessoinnilla kuvamosaiikki sekä yksityiskohtainen korkeuskartta. Näiden tarkkojen ja ajankohtaisten ilmakuvien avulla lentosuunnittelu Intel Mission Controlilla oli suhteellisen helppoa. Alueelle paikannettiin myös RTK-tukiasemalle tarkka maapiste asettamalla tukiasema mittaamaan sijaintiaan maahan merkattuun pisteeseen useiden tuntien ajaksi. Ennen lentoja tukiasema asetettiin tarkasti pisteeseen avustamaan dronen lentoradan ja kuvanpaikannusjärjestelmiä.

4.1.2 Lentosuunnitelma

Tarkastuslento suoritettiin automaattilentona muutamia yksityiskohtia lukuun ottamatta. Automaattisen lennon osuus kuvista oli noin 95 %. Lentosuunnitelma laadittiin kuvamosaiikin ja korkeuskartan yhdistelmän avulla Intel Mission Control -sovelluksella käyttäen tornien ja mastojen kuvaukseen tarkoitettua lentomallia. Tornin parametrit asetettiin mittaamalla tornin mitat ja esteiden etäisyys fotogrammetriaa hyödyntäen korkeuskartan avulla. Lentosuunta ja kuvaustapa asetettiin siten, että drone lensi ympyräkuviota tornin ympärillä vakioetäisyydellä kuvaten ylhäältä alaspäin. Etäisyys torniin asetettiin kuuteen metriin, joka tuotti RX1R II-kameralla teoreettisen 0,08 senttimetrin erottelukyvyn. Hyvän tarkastuslennon oppeja noudattaen kameran kulma asetettiin osoittamaan 25 astetta vaakatasosta alaspäin taivaan ja ympäristön kuvaamisen välttämiseksi. Kuvien päällekkäisyydeksi asetettiin vaakasuunnassa 75 % ja pystysuunnassa 70 %.

Erityistä tarkkuutta lentosuunnittelussa tarvittiin tehdasrakennuksen seinän ja vesitornin välissä lennettäessä. Tämä GPS-häiriöille herkkä alue oli pääasiallinen syy RTK-tukiaseman käytölle. Turvallisuudesta huolehdittiin ottamalla huomioon ilmatilan vaatima 50 metrin enimmäiskorkeus ja pihalla liikkuvat rekka-autot. Lentosuunnitelmaan asetettiin myös 7 metrin vähimmäiskorkeus, jotta drone ei ole turvallisuusriski ympäristössä liikkuville ajoneuvoille tai ihmisille.

4.1.3 Lentosuoritus ja datan siirtäminen

Hyvin suunniteltu tarkastuslento itsessään on erittäin vaivaton ja helppo prosessi. Paikalle saavuttaessa RTK-tukiasema asetettiin tunnetulle pisteelle maanmittaukseen tarkoitettulla kolmijalalla, dronen RTK-avusteisen paikannuksen todennuksen jälkeen kameran asetukset säädettiin kuvaolosuhteisiin sopivaksi. Seuraavaksi drone nostettiin ilmaan, lennettiin tornin keskelle ja todennettiin ohjaimen näytöltä, että lentosuunnitelma on keskitetty oikein tornin keskelle. Viimeisenä käynnistettiin automaattinen lento ja valvottiin lento alusta loppuun asti seuraten dronen lentoa, ympäristössä liikkuvia ajoneuvoja ja ihmisiä turvallisen lennon takaamiseksi. Käsin lennettävässä osuudessa dronella lennettiin pienempien rakenteiden lähelle ja niistä otettiin lähikuvia muutamasta eri kulmasta välttämällä taustoja ja horisonttia dronen ohjaimessa näkyvän reaaliaikakuvan perusteella.

Lennon jälkeen lentodata ja kuvat siirretään dronessa ja kamerassa olevien SD-muistikorttien kautta tietokoneelle käsittelyä varten. Intel Mission Control -sovelluksen ja lentolokin avulla järjestelmäkameran kuviin liitetään kuvien tarkat koordinaatit fotogrammetriaa varten. Kuvien esivalmistelun jälkeen siirryttiin fotogrammetriaosuuteen. Tämä tarkoittaa käytännössä kuvasarjan lataamista Intel Insight palveluun ja paikallisen prosessoinnin aloittamista Agisoft Metashape -sovelluksella. Suuren datamäärän ja sen tuomien laitevaatimusten vuoksi paikalliseen prosessointiin vaadittiin useita päiviä.

5 TULOKSET

5.1 Vesitorni

Hiedanrannan vesitornin tarkastuslento onnistui kokonaisuudessaan hyvin. Automaattilennossa on monia parametrejä, joita muuttamalla voidaan säätää esimerkiksi kuvien määrää, kuvakulmaa ja päällekkäisyyttä tai lentosuorituksen nopeutta tai tarkkuutta. Työssä käytetyn Sony RX1R II -kameran tarkennus lukittiin paikoilleen siten, että tarkennus on yhtä hyvä kaikilla etäisyyksillä. Tämä aiheutti kuvattaessa sen, että kennon 42 megapikseliä ei käytetä tehokkaasti tarkkuuden ollessa tasaisen keskinkertainen. Kuvien päällekkäisyyden ja lentosuunnitelman toteutuminen onnistui erinomaisesti konemaisella tarkkuudella kuten kuvasta 13 nähdään. Lentosuunnittelussa tapahtunut virhe tornin korkeudessa aiheutti sen, että tornin päällä olevasta antennista ei tuotettu tarpeeksi kuvamateriaalia mallinnuksen tarpeisiin.



KUVA 13. Kuvien paikat esitettyinä sinisellä Intel Insight -palvelussa

Fotogrammetrian ja tornin pääosien mallintamisen osalta kuvadatan määrä on kohtuullinen. Agisoft Metashape tuotti kuvista äärimmäisen tarkan pistepilven, jota jopa erityisen

tehokkaalla työasema-PC:llä oli täysi työ käsitellä. Tiheän pistepilven tuottamisessa laatuasetus jouduttiin asettamaan kohtaan Medium, koska korkeammalla laatuasetuksella PC:n keskusmuisti loppui kesken ja prosessointi keskeytyi. Kuvien laadun Metashape arvioi sen sijaan heikoksi erityisen tarkkoihin käsin lennetynä tallennettuihin lähikuviin verrattuna. Pistepilvestä muodostetuista kiinteistä 3D-malleista voidaan tehdä helposti melko luotettavia mittauksia ja pintojen tarkastus onnistuu hienosti varsinkin Metashape:n näkymällä, jossa alkuperäinen valokuva sijoitetaan mallin päälle kuvien 14 ja 15 mukaisesti.

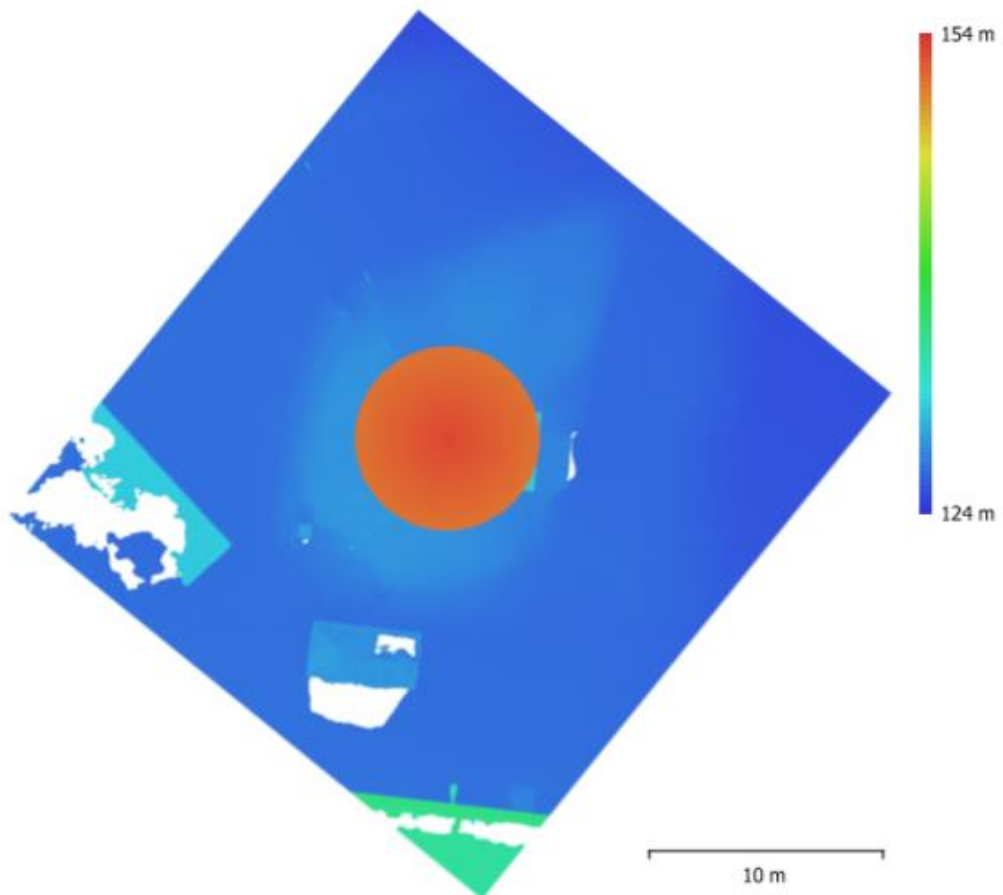


KUVA 14. Agisoft Metashape asettaa alkuperäisen kuvan 3D-mallin päälle.

Prosessoinnin valmistuttua 3D-muodon ja pinnan tekstuurin osalta Agisoft Metashapella tuotettiin automaattinen laaturaportti, joka on työn lopussa liitteenä. Laaturaportti on yhteenveto ja arvio käyttäjän syöttämästä kuvadatasta ja prosessointivaiheiden lopputuloksista. Raportin mukaan kuvien paikan virheen arvio kuvien metatiedossa olevien GPS-koordinaattien ja analyysissä tehdyn mittauksen välillä oli keskimäärin 35,08 senttimetriä. Tämä laskenta ottaa huomioon myös käsin lennetyn osuuden kuvat, joissa hajontaa oli liitteen 1 sivun 4 havainnekuvan perusteella huomattavasti automaattilennon kuvia enemmän. Virhetiedon perusteella voidaan päätellä, että mallin tarkkuus olisi parempi, jos kaikki kuvat otettaisiin automaattisen lentosuunnitelman mukaan. Digitaalisen korkeusmallin laatu on erinomainen. Kuvassa 16 olevan mallin resoluutioksi eli maaerottelutarkkuudeksi ilmoitettiin 4,99 mm/pikseli ja pistekartan keskitiheydeksi 4,02 pistettä/cm².



KUVA 15. Metashapen mittaus ikkunalla olevasta tangosta



KUVA 16. Laaturaportin digitaalinen korkeusmalli



KUVA 17. Tornin korkeusmittaus Metashapessa

Metashapen tuottama pistepilvi tihenee sen mukaan, kuinka monta kelvollista kuvaa projektiin syötetään. Tornin tapauksessa Metashapen pistepilven laatuasetus oli keskitasolla, mutta silti pisteiden määrä oli lähes 56 miljoonaa. Vertailun vuoksi Pix4D:llä vastaava asetukset tuotti samalta alueelta noin 5 miljoonaa pistettä. Pix4D:n harvempi pistepilvi ei välttämättä ole ohjelmiston heikkoutta vaan kehittäjien tietoinen päätös, koska pistepilven liika tiheys aiheuttaa suorituskyvyn huonontumista ilman, että tuloksissa näkyy merkittävää parannusta. Lopullisesta kiinteästä mallista tuli Metashapella ja Intel Insightin Bentley-vaihtoehdolla kuitenkin niin tarkka, että tätä ominaisuutta ei kaikissa kohdissa, kuten kuvassa 18 esitetyssä kohdassa, välttämättä edes tarvitse.



KUVA 18. Agisoft Metashapen tuottaman mallin ja tekstuurin laatu on erinomainen.

Kuvassa 19 oleva Intel Insight -palvelun Bentley-prosessointivaihtoehdolla tuotettu pistepilvi oli laadultaan hyvin lähellä Metashapen tulosta, mutta 3D-mallin näyttäminen selainympäristössä ei onnistunut. Insight varoittaa mallin suuresta koosta ja siitä, että sitä ei välttämättä voi näyttää selainikkunassa. Tämän varoituksen huomiotta jättäminen aiheutti kaikkien kokeiltujen internetselainten kaatumisen. Kuvassa 19 nähtävän 3D-mallin pystyi silti lataamaan työasemalle ja sen tarkastelu onnistui Agisoft Viewer -sovelluksella. Mallin ja tekstuurin laatu on lähes identtinen Agisoft Metashapen kanssa.



KUVA 19. Intel Insight -palvelusta ladattu 3D-malli



KUVA 20. Bentleyllä tuotettu pistepilvi Intel Insight -palvelussa.

Metashapen tuomio kuvien heikosta laadusta johtui suoraan kameran tarkennusasetuksesta ja ongelma korjautuisi joko toimivalla automaattitarkennuksella tai tarkalla etäisyyslukituksella, jota lennossa käytetyssä dronessa ei tällä hetkellä ole. Valotuksen ja suljinajan osalta kameran asetukset onnistuivat kohtuullisesti jopa amatöörikuvaajalta.

Intel Insight -pilvipalvelussa tulokset tuotettiin ilman paikallista laskentatehon tarvetta ja tämä on selkeä voitto prosessin aika- ja laitevaatimusten kannalta. Varsinkin ottaen huomioon sen, että Bentley-prosessoinnin lopputuloksen laatu on erinomainen. Agisoft Metashapella pistepilven ja kiinteän 3D-mallin tuottaminen kesti yhteensä yli 23 tuntia, jonka aikana työasema on käytännössä käyttökelvoton mihinkään muuhun tarkoitukseen. Pilvipalvelussa Bentley-algoritmillä tuotetun mallin prosessointiaika kuvien lataamisesta täyteen valmistumiseen oli noin kuusi tuntia, joka voi tarkoittaa tuloksia odottavalle yritykselle merkittäviä säästöjä. Näiden palveluiden prosessointiaika vaihtelee merkittävästi palvelinten kuorman mukaan, joten niihin kannattaa suhtautua tietyllä varauksella.

Kaikki osa-alueet huomioon ottaen prosessin automatisaatio lentosuorituksen ja fotogrammetrian osuudelta on hyvinkin realistinen. Teknologia dronen lentoonlähden, kuvaamisen, lähtöpaikkaan palaamiseen ja kuvadatan langattomaan siirtämiseen on jo olemassa. Lisäksi fotogrammetrian tulokset pilvipalvelusta ilman käsin tehtävää työtä olivat hyvinkin käyttökelpoisia, vaikka kuvauksen jälki ei olisikaan ammattitasoista.

6 POHDINTA

Tutkimus oli kokonaisuudessaan onnistunut. Automaattisen tarkastuslennon tulokset ovat käyttökelpoisia mittaustöihin ja pintojen tarkastukseen ainakin tiiliseinän osalta. Myös automaattilennon edut tulivat tornin kuvaamisessa erinomaisesti esiin. Kuvia täytyy ottaa suuri määrä ja tasaisin välein mahdollisimman tarkalta etäisyydeltä. Käsin lennettävänä tämä vaatisi jopa koulutetulta ammattilaiselta kohtuuttoman paljon aikaa. Tornin tapauksessa automaattinen lentosuunnitelma on turvallinen ja paikannusjärjestelmän toimiessa luotettavasti, uuden lennon suorittamiseen ei vaadittaisi edes koulutettua lennättäjää.

Paikallisella laskentateholla tehtävä fotogrammetria on vieläkin luotettavin tapa saada hyviä tuloksia. Usein vaikeisiin, osittain läpinäkyvistä kohteista kuten antennimastoista ja suurjännitelinjosten pylväistä tuotettaviin pistepilviin joudutaan tekemään huomattava määrä korjauksia käsin, jolloin pilvipalveluiden työkalut eivät ole riittäviä. Paikallisella prosessoinnilla on myös kääntöpuolensa, kuten hinta. Fotogrammetriaan soveltuvan työaseman hinta on poikkeuksetta vähintään kaksi tuhatta euroa laskematta mahdollisia ylläpitokustannuksia kuten sähkönkulutusta, mahdollisia varaosia ja kaikista tärkeintä eli ammattitaitoista käyttäjää.

Pilvessä suoritettavan fotogrammetrian osuus tulee tulevaisuudessa korostumaan, kun useammat valmistajat tuovat markkinoille teollisuuden ja ammattilaisten käyttöön suunniteltuja autonomisia ilma-aluksia. Kuten tässäkin tutkimuksessa kävi ilmi, teknologia vaatii kuitenkin vielä aikaa kehittyä, koska tämänhetkiset web-käyttöliittymät ja internet-selaimet eivät pysty luotettavasti näyttämään erityisen tarkkoja ja suurikokoisia 3D-malleja. Prosessoinnin laadusta ei kuitenkaan ainakaan tämän työn perusteella tule ongelmaa, kunhan kuvien laatu on riittävä. Pix4D tuottaa pilvipalveluissakin erinomaisia korkeuskarttoja ja hyvälaatuisia kuvamosaiikkeja esimerkiksi karttapalveluiden käyttöön. Bentley sen sijaan tuotti kuudessa tunnissa samanlaatuisen 3D-mallin kuin Agisoft Metashape vuorokaudessa.

Automattiset tarkastuslennot ovat hyvin monimutkaisia prosesseja joissa tarvitaan huomattava määrä esivalmistelua ja suunnittelua. Varsinkin RTK-paikannuksen valmisteleminen vie paljon aikaa, jos tarkastuskohteen läheisyydessä ei ole valmiiksi paikannettua

tarkkaa pistettä, johon tukiaseman voi asettaa. Valmistelujen jälkeen tarkastusten toistaminen on paljon helpompaa, koska lento on joka kerta lähes identtinen, kunhan ilma-alus ei häiriinny liikaa esimerkiksi tuuliolosuhteista.

Tulevaisuudessa droneissa ja niiden tukijärjestelmissä tulee olemaan luotettavampia ja tehokkaampia kuvaus-, paikannus- ja datankäsittelyjärjestelmiä. Varsinkin automaattinen datan siirto ilma-aluksesta työasemaan tai pilveen prosessointia varten olisi erittäin tervetullut parannus. Myös tekoälyn valjastaminen lentosuunnitteluun ja fotogrammetriaan avaa lukuisia mahdollisuuksia. Tekoäly voi esimerkiksi lisätä kuvien päällekkäisyyttä lentosuunnitelmaan ja raportoida automaattisesti, jos se havaitsee yksityiskohtia tai muutoksia edellisiin lentoihin verrattuna. Kameroiden lisäksi droneihin voidaan asentaa lähes rajaton määrä sensoreita, joilla voi mitata erilaisia signaaleja ja kemikaaleja.

Mielenkiintoista onkin nähdä, kuinka vaikeiden ohuita rakenteita sisältävien kohteiden, kuten sähkölinjojen ja mastojen ja niiden harusvajereiden tarkastuksien haasteet ratkaistaan. Nämä kohteet ovat erityisen hankalia fotogrammetrian näkökulmasta, koska nykyisillä RGB-kameroilla kuvattaessa kaapelit ja vaijerit sulautuvat taustaan, eikä niistä voida tuottaa kunnollisia pistepilviä ilman käsin tehtävää korjausta.

LÄHTEET

- Intel Corporation. 2018a. Intel Falcon 8+ User Manual. Luettu 26.11.2018. https://www.intel.com/content/dam/support/us/en/documents/drones/IF8P_User-Manual.pdf
- Intel Corporation. 2018b. Intel Unveils Drone Software Solutions that Enable Businesses to Unlock Potential of Aerial Data. Päivitetty 1.5.2018 Luettu 24.11.2018. <https://newsroom.intel.com/news/intels-hardware-software-solutions-enable-businesses-unlock-potential-aerial-data/>
- Intel Corporation. N.d. Intel Sirius Pro UAV. Luettu 24.11.2018. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/drones/sirius-pro.html>
- Intel Corporation. N.d. Intel Falcon 8+ System. Luettu 24.11.2018. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/drones/falcon-8.html>
- Kamerakoulu.fi. N.d. Valokuvauksen perusteet. Luettu 24.11.2018. <https://kamerakoulu.fi/peruskurssi>
- Pix4D SA. N.d. Pix4Dcapture. Luettu 24.11.2018. <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>
- Pix4D. N.d. Ground sampling distance (GSD). Luettu 24.11.2018. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD->
- Terris GPS. 2018. Explaining RTK in GNSS / GPS. Luettu 26.11.2018. <http://www.terrisgps.com/what-is-gps-gnss-rtk/>
- The Center for Photogrammetric Training. 2008. History of photogrammetry. Päivitetty 24.8.2008. Luettu 2018. <http://wayback.archive-it.org/all/20090227061949/http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/History.pdf>
- TRAFI/ 90924/03.04.00.00/2016. 2016. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lentäminen. Säädös. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Luettu 17.11.2018. https://www.trafi.fi/file-bank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VAL-MIS_maarays_RPAS_fi.pdf
- Trafi. 2017. Missä saan lentää? Päivitetty 06.06.2017. Luettu 4.12.2018. https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/missa_saan_lentaa
- Väliaikainen Hiedanranta. 2017. Hiedanrannan historia. Julkaistu 15.9.2017. Luettu 26.11.2018. <https://valiaikainenhiedanranta.fi/info/hiedanrannan-historiaa>

LIITTEET

Liite 1. Agisoft Metashapen automaattinen laaturaportti 3D-mallin tuottamisesta

1(7)

Agisoft Metashape

Processing Report
28 November 2018



(jatkuu)

Survey Data

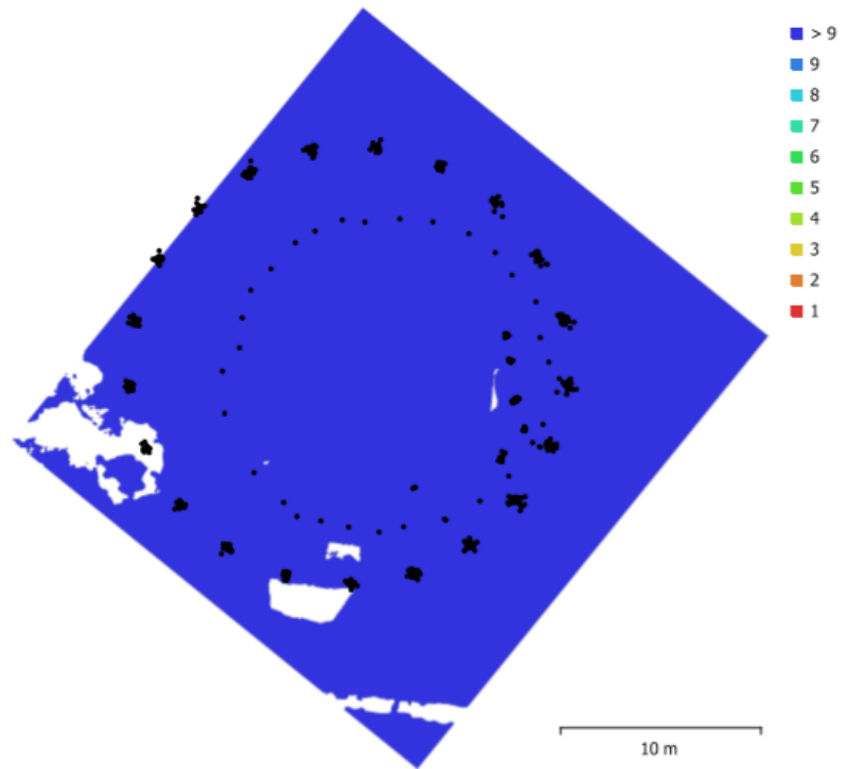


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	504	Camera stations:	504
Flying altitude:	11.4 m	Tie points:	330,802
Ground resolution:	1.25 mm/pix	Projections:	1,751,516
Coverage area:	694 m ²	Reprojection error:	0.863 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
DSC-RX1RM2 (35mm)	7952 x 5304	35 mm	4.53 x 4.53 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

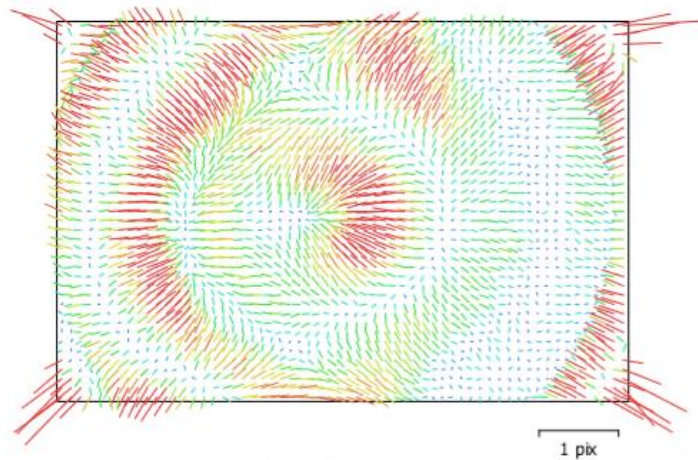


Fig. 2. Image residuals for DSC-RX1RM2 (35mm).

DSC-RX1RM2 (35mm)

504 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	7952 x 5304	35 mm	4.53 x 4.53 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	7537.75	0.051	1.00	0.00	0.17	-0.87	0.10	-0.25	0.21	-0.20	0.19	0.02	-0.54
Cx	-33.2793	0.036		1.00	-0.03	0.00	-0.31	0.01	-0.01	0.01	-0.00	0.87	-0.05
Cy	-34.4452	0.05			1.00	-0.35	0.10	-0.01	0.01	-0.00	-0.00	-0.04	0.31
B1	-0.0415692	0.049				1.00	-0.13	0.01	-0.00	0.01	-0.02	-0.01	0.54
B2	1.05554	0.0091					1.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01	-0.20	-0.05
K1	-0.11618	4.9e-005						1.00	-0.97	0.92	-0.87	-0.01	-0.00
K2	0.584531	0.00048							1.00	-0.99	0.96	0.00	0.01
K3	-2.84669	0.0018								1.00	-0.99	-0.00	-0.01
K4	4.14059	0.0023									1.00	0.01	0.00
P1	-4.43829e-005	1.2e-006										1.00	-0.03
P2	0.000438916	1.4e-006											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

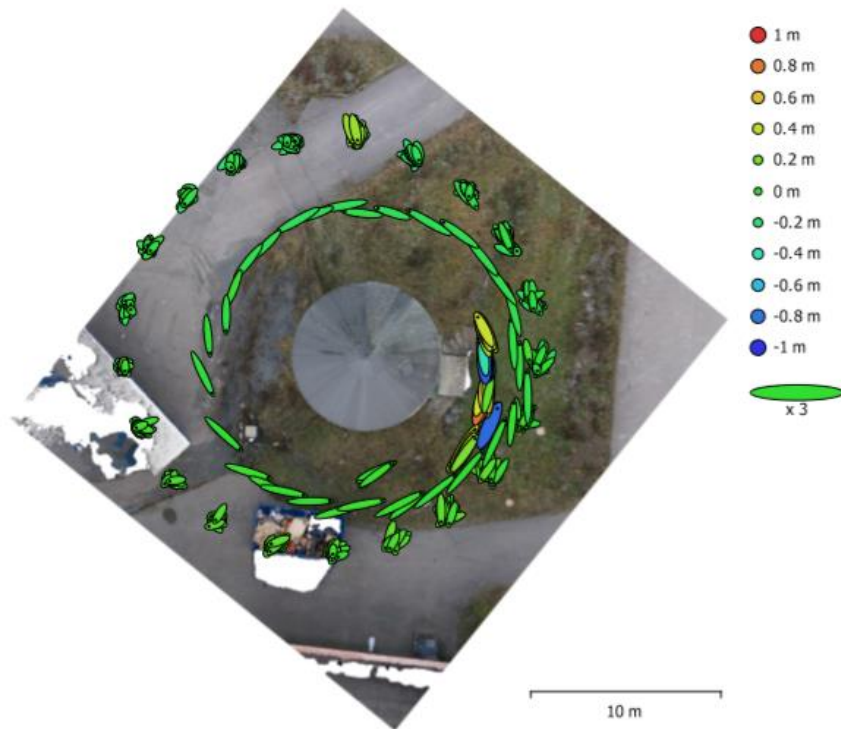


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
18.3106	25.1481	16.2135	31.1079	35.0796

Table 3. Average camera location error.
 X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

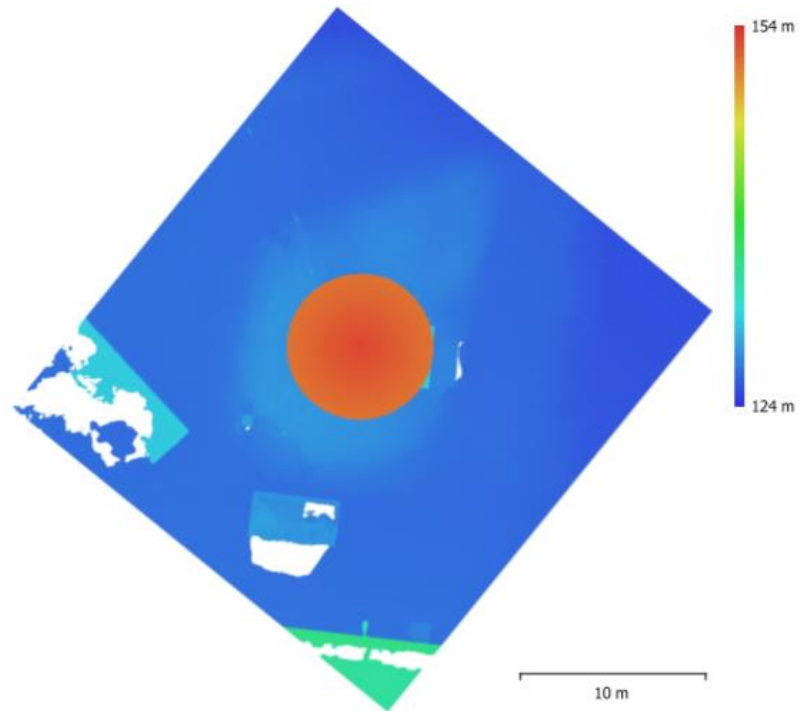


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 4.99 mm/pix
Point density: 4.02 points/cm²

Processing Parameters

General	
Cameras	504
Aligned cameras	504
Shapes	
Polygons	1
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	330,802 of 380,094
RMS reprojection error	0.145382 (0.863442 pix)
Max reprojection error	0.443371 (23.4559 pix)
Mean key point size	5.42358 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.92057
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	14 minutes 17 seconds
Alignment time	3 minutes 3 seconds
Dense Point Cloud	
Points	59,476,969
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Quality	Medium
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	1 hours 34 minutes
Dense cloud generation time	4 hours 58 minutes
Model	
Faces	11,895,246
Vertices	5,957,665
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	Medium
Depth filtering	Moderate
Face count	11,895,247
Processing time	34 minutes 16 seconds
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes

7(7)

General

Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	1 minutes 45 seconds
Blending time	1 hours 1 minutes

Software

Version	1.5.0
Platform	Windows 64