

Antti Yli-Panula

UAV-ilmakuvaus ja sen hyödyntäminen lunastustoimituksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

29.3.2017

Tekijä Otsikko	Antti Yli-Panula UAV-ilmakuvauus ja sen hyödyntäminen lunastustoimituksissa
Sivumäärä Aika	35 sivua + 1 liite 29.03.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Ilkka Partonen toimitusinsinööri Jussi Syväjärvi
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua UAV-kuvauusprosessiin ja saada selkoa sen soveltuvuudesta Maanmittauslaitoksen toimitustuotantoon, erityisesti vesijätön lunastuksiin. Työssä selvitettiin UAV-kuvauksella saatavan fotogrammetrisen pistepilven tarkkuutta, ja erityisen kiinnostuksen kohteena oli mittausdatasta saatu korkeustarkkuus. Fotogrammetrisen pistepilven tarkkuutta vertailtiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston kanssa.</p> <p>UAV-lennätys suoritettiin helmikuussa 2017 Salon Vuohensaarella. Lennätyskalustona käytettiin Geodronen X4L V4 -quadkopteria, joka on suomalaisen VideoDrone Finland Oy:n valmistama UAV-kopteri. Kamerana kopterissa oli Sonyn hybridikamera a6000 20 mm:n objektiivilla.</p> <p>UAV:lla tuotettujen kuvien prosessointiin ja jälkikäsittelyyn käytettiin Pix4DMapper pro-ohjelmistoa. Pix4DMapperissa kuvauksaineistosta saatiin prosessoitua pistepilvet, ortokuva ja korkeuskäyrät. UAV-aineistoa vertailtiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta laskettuun 2 m:n maastomalliin ja vertailu suoritettiin suomalaisen 3D-systemin 3D-Win-sovelluksella.</p> <p>UAV-ilmakuvauksella kerätyssä kuvauksatassa päästiin sisäisesti ja ulkoisesti hyviin tarkkuuksiin. Ongelmaksi rantarajan määrittämisessä tuli kuitenkin talviset olosuhteet, koska jään ja lumen takia varsinaista rantarajan paikkaa oli vaikeaa määrittää. Myöskin puustojen oksat ja rannan aluskasvillisuus aiheuttivat ongelmia. Otollisimmissa olosuhteissa oltaisiinkin saatu paljon vertailukelpoisempaa dataa. Vaikka näissä UAV-lennätyksissä olosuhteet aiheuttivat isoja ongelmia, ennustan, että UAV-tekniologialla on runsaasti kasvupotentiaalia maanmittausalalla.</p>	
Avainsanat	UAV, rantaraja, fotogrammetria

Author Title	Antti Yli-Panula UAV aerial photography and its utilization for legal survey
Number of Pages Date	35 pages + 1 appendices 29 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Ilkka Partonen, Senior Lecturer Jussi Syväjärvi, Cadastral Surveyor
<p>The purpose of this study was to explore UAV surveying and to understand its compatibility with the National Land Survey of Finland's cadastral procedure, especially with the purchase of a reliction area. The data collected with a UAV was presented as a point cloud that was photogrammetrically processed to investigate the accuracy of the height of the points.</p> <p>The UAV flight was executed in Salo, Finland in February 2017. The UAV used was a Geodrone X4L V4 quadcopter and the camera was a Sony A6000 hybrid camera with a 20mm lens. In data processing, the main software was Pix4DMapper pro. It was used to process the point clouds, orthophotograph and the height curves. The UAV data was compared to the laser scanning data of NLS, and the comparison was made with the 3DWIN software.</p> <p>The result showed that photogrammetrically processed data was accurate both internally and externally. However, the winter conditions created a problem to determining the limit of waterfront. Due to ice and snow it is hard to determine the actual waterfront. Also, tree branches and coastal meadows caused problems. Although the conditions caused major problems in the measurements, it seems that UAV technology has plenty of growth potential in the field of land surveying.</p>	
Keywords	UAV, coastline, photogrammetry

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	UA-ilma-alukset	2
2.1	Mitä on UAV?	2
2.2	Luokittelu	2
2.3	Käyttötarkoitukset	3
2.4	Lainsäädäntö	4
2.4.1	Säätely liikennealan normeissa	4
2.4.2	Säätely muualla kuin liikennealan normeissa	6
2.4.3	Määräyksen päivitys OPS M1-32 (voimaan 01/2017)	6
3	Rantarajat	8
3.1	Rantarajat ja rantaviiva	8
3.2	Kiinteistön ulottuvuus vesialueeseen	8
3.3	Vanhojen kiinteistörajojen tuominen	9
4	Case Vuohensaari	11
4.1	Vuohensaaren geoidikorkeus	11
4.2	UAV-kuvausprosessiin tutustuminen	11
4.3	Kuvattavan alueen sijainti	12
4.4	Lennätyksessä käytetty kalusto	13
4.5	Sääolosuhteet kohteessa	14
4.6	Lentosuunnitelman toteuttaminen	14
4.7	Maastotyöt, valmistelu ja kuvauslento	16
4.8	UAV-kuvauksesta saatu aineisto	18
5	Datan jälkikäsittely	19
5.1	Ennen ohjelmistojen käyttämistä	19
5.2	Pix4DMapper-prosessointi	20
5.2.1	Tukipisteiden lisääminen	20
5.2.2	Ilmakolmioinnin luominen	21
5.2.3	Tihennetty pistepilvi ja 3D-verkkomalli	23
5.2.4	Digitaalinen pintamalli, ortokuvamosaiikki ja korkeuskäyrät	24
5.3	Laserkeilausaineisto	26

5.3.1	Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto	26
5.3.2	Laserkeilausaineiston rajaaminen	26
5.4	Korkeustietojen tuominen 3D-Win-ohjelmistolla	27
5.4.1	3D-Win-ohje	27
5.4.2	Mittaustulosten luotettavuus	29
5.5	Korkeuskäyrien tarkistaminen GNSS-mittauksella	30
6	Pohdintoja	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Pix4DMapper-prosessoinnin laaturaportti	

Lyhenteet ja käsitteet

ARTO	Arviointitoimitukset. Maanmittauslaitoksen arviointitoimitukset-tulosyksikkö.
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight. UAV-lennätys ei ole näköyhteyteen perustuva.
FPV	First Person View. UAV-lennätys tapahtuu videolinkin avulla.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Satelliittijärjestelmä.
GPS	Global positioning system. Yhdysvaltojen kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GSD	Ground sample distance. UAV-kuvauksen asetus, kuvan maanerotuskyky.
HALE	High-Altitude Long Endurance. Korkealla lentävä ilma-alus, joka pystyy lentämään pitkiä lentomatkoja.
MW	Mean water level. Teoreettinen keskivesi.
PETO	Perustoimitukset. Maanmittauslaitoksen perustoimitukset-tulosyksikkö.
RPAS	Remotely piloted aircraft system. UAS-järjestelmästä käytetty nimitys.
RSK	Sijaintitarkkuus, joka ilmoitetaan pistekeskivirheenä.
UAS	Unmanned Aerial System. Järjestelmä, jota käytetään miehittämättömän ilma-aluksen toiminnassa.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle. Miehittämätön ilma-alus.
VLOS	Visual Line Of Sight. Suoraan näköyhteyteen perustuva UAV-lennätys.

1 Johdanto

Miehittämättömien ilma-alusten suosio on lisääntynyt runsaasti sekä kaupallisella että siviilipuolella. UAV-laitteiden hintataso on tippunut kasvavan kysynnän johdosta, ja niitä pystytään käyttämään yhä enemmän erilaisiin sovellutuksiin. Myös maanmittausalalla UAV-tekniikan kasvupotentiaalia on pyritty hyödyntämään ja sitä käytetäänkin yhä enemmän erilaisiin laskentoihin, kuten maastomallien avulla tilavuuksien laskentaan. Myös perinteisiä fotogrammetrisiä ilmakuvia otetaan vuosi vuodelta enemmän ja niistä saatua dataa pyritään jatkokäsittämään ja hyödyntämään paremmin. UAV-kuvaukset ovat pienillä alueilla edullisempia kuin perinteiset helikoptereilla tai lentokoneilla tehdyt ilmakuvaukset.

Sain opinnäytetyöni toimeksiannon Maanmittauslaitokselta ja työssäni tutustuttiin UAV-kuvausprosessiin. Kuvausalueena UAV-ilmakuvauksissa olivat Vuohensaaren ranta-alueet, ja kuvaukset suoritettiin helmikuussa 2017. Kuvaukseen osallistui Maanmittauslaitoksen henkilöstöä ja Geotrimin edustaja. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka tarkkaa korkeus- ja sijaintidataa saadaan fotogrammetrisistä pistepilvistä. Erityisen mielenkiinnon kohteena oli rantarajan määrittäminen ja UAV-kuvauksen mahdollinen hyödyntäminen Maanmittauslaitoksen lunastustoimituksissa.

UAV-ilmakuvauksineiston prosessointia suoritettiin Pix4DMapper-ohjelmistolla ja mitattua aineistoa vertailtiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon. Työssä pohdittiin myös UAV-kuvausprosessiin kuuluvan kaluston ja ohjelmistojen soveltuvuutta erilaisiin maanmittauksen sovellutuksiin.

2 UA-ilma-alukset

2.1 Mitä on UAV?

UA:lla (vanha termi UAV) tarkoitetaan miehittämätöntä ilma-alusta, jonka sisällä ei ole ohjaajaa vaan sitä lennätetään autopilotin avulla. Autopilotille on määritelty ennakkoon lentosuunnitelma, joka toteutuu käytännössä GPS-koordinaattien avulla. UA-ilma-aluksia voi kuitenkin ohjata myös manuaalisesti radio-ohjauksen avulla. Manuaalista ohjausta käytetään nousu- ja laskutilanteissa sekä erityisesti vika- tai vaaratilanteissa. (1, s. 7.)

UAS:llä (Unmanned aerial system) tarkoitetaan järjestelmää, jonka avulla ilma-aluksia lennätetään. Järjestelmä koostuu kolmesta eri osa-alueesta, jotka ovat, kauko-ohjattu ilma-alus kojeineen, lentosuunnitelman tekoa ja lennon aikaista monitorointia varten oleva tietokonesovellus, ja radioyhteys ohjaajan ja lennokin välillä. Alun perin UAS-järjestelmät on luotu armeijan käyttötarkoituksiin, mutta nykyään niitä käyttävät myös yksityiset henkilöt ja yritykset. UAS-järjestelmästä käytetään myös nimitystä RPAS (Remotely piloted aircraft system). (1, s. 7; 2.)

2.2 Luokittelu

UAV-ilma-aluksia lokeroidaan eri ryhmiin niiden koon perusteella ja luokitteluperusteena käytetään myös niiden siiven tyyppiä. Ilma-alukset voidaan jakaa kahteen eri siipiluokkaan multikoptereihin ja kiinteäsiipisiin lennokkeihin. Pienimmät multikopterit ovat halkaisijaltaan vain muutamia senttimetrejä, kun taas suurimmissa HALE-tyypin ilma-aluksissa (kiinteäsiipinen) siipiväli voi olla yli 15 metriä. Multikopterityypissä ilma-alus luokitellaan kopterissa olevien roottoreiden lukumäärän mukaan: neliroottorinen (quadkopteri), kuusi-roottorinen (hexakopteri) tai kahdeksanroottorinen (octokopteri). Roottorit on sijoitettu kopterin keskipisteestä lähtevien akseleiden päähän tai yhtenäiseen kopterin päällä olevaan levyyn. Multikoptereissa joka toinen roottori pyörii myötäpäivään ja joka toinen vastapäivään, ja kopteria ohjataan säätelämällä roottoreiden kierroksia. (4, s. 3.) Kuvassa 1 on esimerkki quadkopterista.

Koptereiden etuna verrattuna kiinteäsiipisiin ilma-aluksiin voidaan pitää sitä, että niitä on helpompi hallita pienessä tilassa. Nousut ja laskut onnistuvat tarkemmin kuin

kiinteäsiipisellä lennokeilla. Toisaalta koptereiden roottorit kuluttavat paljon virtaa, joten akunkesto koptereissa on yleensä huonompi. (3, s. 12.)



Kuva 1. Metropolian quadkopteri Camflight FX8HL.

2.3 Käyttötarkoitukset

UAV-laitteita käyttävät monet eri tahot pelastuslaitoksesta, energiateollisuuteen, puolustusvoimiin ja kaupallisiin sovelluksiin. Myös harrastelennättäminen on nykyään suosittua, ja UAV-laitteiden lisääntynyt tarjonta on tiputtanut laitteistojen hintatasoa. UAV-laitteiden käyttö tulee lisääntymään tulevaisuudessa runsaasti sekä siviili- että kaupallisella puolella. Erityisesti pienten (sUAS) koptereiden käyttö tulee yleistymään niiden monikäyttöisyyden ja halvan hankintahinnan takia. (4, s. 2; 5.)

Eniten UAV-ilma-aluksia käytetään sekä siviili- että ammattikäytössä ilmakuvien ja maisemakuvien ottamiseen. UAV-lennokeilla otettavien ilmakuvien tarkkuus on nykyteknologialla 1–4cm/pikseli, joka on tarkempi kuin lentokoneesta tai helikopterista otettu ilma-kuva. Tarkkuuksien ollessa jo näin hyviä ja tarkkuuksien parantuessa yhä tulevaisuudessa voidaan UAV-ilmakuvausta käyttää yhä enemmän ilmasta tapahtuviin mittauksiin. UAV-ilmakuvausta on käytetty esimerkiksi hakekasojen tai avolouhosten tilavuuksien ja pinta-alojen laskentaan. Kun kuvia otetaan suuri määrä vierekkäin ja kuvilla on tarpeeksi suuri sivupeitto, voidaan kohteesta luoda kolmiulotteinen malli. Kolmiulotteisesta mallista pystytään laskemaan pinta-aloja ja tilavuuksia. (1, s. 10–14.)

Suurten alueiden kartoituksiin UAV-ilma-aluksia ei pystytä hyödyntämään ainakaan tois-
taiseksi, koska ilmailusäännökset edellyttävät, että ilma-aluksen on oltava koko ajan joko
ohjaajan tai tähystäjän näköpiirissä (1, s. 13).

UAV-ilma-aluksia on käytetty myös luonnonvarojen ja kasvillisuuksien kuvaamiseen.
Peltoja tarkastetaan ilmakuvilla, joista näkyy muun muassa puutteellisesti lannoitetut
kohdat pelloissa. Infrapunakuvilla pystytään myös tutkimaan kasvitauteja, jotka näkyvät
kasveissa jo kymmeniä päiviä, ennen kuin tauti näkyy varsinaisesti kasvissa. (1, s. 11.)

Puolustusvoimat käyttävät vihollisten vakoiluun 800 metrin korkeudella lentäviä minilen-
nokkeja. Lennokit ovat tulleet korvaamaan vuonna 2015 poistuneita jalkamiinoja. Puo-
lustusvoimien lennokeissa huippunopeus on 140 kilometriä tunnissa, ja rahaa niihin on
kulunut 23,6 miljoonaa euroa. (6)

2.4 Lainsäädäntö

Suomessa UAV-ilma-alusten lainsäädännöstä vastaa Liikenteen turvallisuusvirasto eli
Trafi. UAV-lainsäädännön voi jakaa kahteen eri kategoriaan: sääntelyyn liikennealan
normeissa ja sääntelyyn muualla kuin liikennealan normeissa. (7)

2.4.1 Sääntely liikennealan normeissa

Liikennealan normeissa olevan sääntelyn tukipilarina pidetään Trafien 9.10.2015 antamaa
määräystä (OPS M1-32) miehittämättömien ilma-alusten ja lennokkien lennättämisestä.
Miehittämättömässä ilma-aluksessa ei ole ohjaajaa ja niitä käytetään esimerkiksi ilma-
kuvaukseen, tutkimuksiin ja mittauksiin. Trafien antamaa määräystä päivitettiin tämän in-
sinööriyön teon aikana, ja uuden määräyksen muutoksia käsitellään luvussa 2.4.3. (7)

Seuraavaksi käsitellään Trafin M1-32 määräyksiä.

Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämiseen ei tarvita lentotyölupaa, eikä sen lennättämiseen sovelleta lentotyöstä annettua määräystä (OPS M1-23). Kun yritys tai yksityinen henkilö hankkii ilma-aluksen, on Liikenteen turvallisuusvirastolle ilmoitettava seuraavat informaatiot:

- 1) tiedot käyttäjästä
- 2) tekniset perustiedot ilma-aluksesta
- 3) aiotun toiminnan laatu ja laajuus
- 4) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa tiheästi asutulla asutuskeskusalueella
- 5) tieto siitä, harjoitetaanko toimintaa ulkona väkijoukon yläpuolella.

Lennätykset on suoritettava päiväsaikaan, ja ilma-aluksesta vastaavan on oltava vähintään 18-vuotias. Lennätyksestä ei saa koitua kohtuutonta meluhaittaa ja lennätyksistä ei saa olla vaaraa ulkopuolisille, eikä heidän omaisuudelleen. Viranomaistyötä ei saa vaarantaa ilma-aluksen lennättämisellä, eikä ilma-alusta saa lennättää lentokenttien läheisyydessä ilman ilmaliikennepalvelun tarjoajan lupaa. Miehittämätön ilma-alus väistää muita ilma-aluksia kaikissa tilanteissa. (8, s. 3.)

Seuraavia määräyksiä on noudatettava ilma-aluksen lennättämisessä, jos aluetta ei ole rajoitettu muulta ilmailulta: Lento-ohjauksella kauko-ohjatulla ilma-aluksella saa olla enintään 25 kg, käytön on perustuttava näköyhteyteen, tähystäjällä ja ilma-aluksen lennättäjällä tulee olla viestiyhteys, lennätyskorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta ja lennättäminen alempana kuin tehtävän edellyttämällä korkeudella ei ole sallittua. (8, s. 4.)

Jos ilma-alusta lennätetään tiheästi asutun asutuskeskuksen yläpuolella tai väkijoukon yläpuolella saa aluksen lento-ohjauksella olla enintään 7 kg. Tällaisissa tilanteissa tulee lennätys suorittaa siten, että mahdollinen hätälasku onnistuu mahdollisimman pienillä vahingoilla. Ilma-aluksen käyttäjä on myös laatinut turvallisuusarvioinnin ja kirjallisen toimintaohjeistuksen ennen lennättämistä. (8, s. 4–5.)

Miehittämättömän ilma-aluksen lennättämisestä on pidettävä päiväkirjaa. Seuraavat tiedot on tallennettava jokaisesta lennätyksestä ja niitä on säilytettävä kolmen vuoden ajan: päivämäärä, jolloin lennätys tehtiin, lennätyspaikka, lennosta vastaava, ilma-aluksen valmistaja ja malli, kellonaika, jolloin lennätys/lennätysarja alkoi ja päättyi, oliko kyseessä suoraan näköyhteyteen perustuva lennättäminen (VLOS) vai suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lennättäminen (BVLOS), käytettiinkö tähystäjää ja mikä oli lennättyksen tarkoitus/luonne. (8, s. 3.)

2.4.2 Sääntely muualla kuin liikennealan normeissa

Seuraavat asiat vaikuttavat myös UAV-lennätykseen.

- 1) Laki yksityisyydensuojasta ja salakatselusta
- 2) Tekijänoikeudet
- 3) Ympäristöasiat
- 4) Yleinen järjestys ja turvallisuus
- 5) Kaupallisten oikeuksien hallinta: mikä lasketaan harrastetoiminnaksi ja mikä ammattitoiminnaksi? (1, s. 21–22; 7.)

2.4.3 Määräyksen päivitys OPS M1-32 (voimaan 01/2017)

Uudella määräyksellä päivitetään toistaiseksi voimassa olevaa kauko-ohjatun ilma-aluksen määräystä. Tavoitteena oli huomioida muutostarpeet ja selkeyttää vanhaa määräystä helpommin luettavaksi.

Suurimpia muutoksia uudessa määräysluonnoksessa ovat seuraavat:

- 1) Sisätiloissa tapahtuvat lennätykset ja alle 250 g:n ilma-aluksella tapahtuvat lennätykset eivät kuulu enää soveltamisalaan.

- 2) Lennättämistä videolinkin avulla (FPV) ei katsota enää näköyhteyteen perustuvaksi, vaan lennättämisellä tulee olla suora näköyhteys ilman apuvälineitä. Kuitenkin niin, että lennättäjä saa hyödyntää videolinkkiä, jos tähystäjä näkee ilmailuksen ja heillä on toimiva viestiyhteys.
- 3) Pykälän paikkoja määräyksessä on muutettu, esim. valtion ilmailua koskevat vaatimukset ovat saaneet oman kohdan 3.3 (9, s. 3–5).
- 4) Lennokin tai kopterin lentoonlähtömassaan ei lasketa enää pelastuslaitteita.

3 Rantarajat

3.1 Rantarajat ja rantaviiva

Ranta-alueella tarkoitetaan maa- ja vesialueen välillä olevaa aluetta, joka erottaa toisistaan kaksi hyvin erilaista ekosysteemiä. Rantaviivalla tarkoitetaan sitä paikkaa, jossa maan ja veden pinnat kohtaavat. Vaikka kiinteistö ulottuisi rantaan, ei rantaviiva ole kuitenkaan aina kiinteistön raja. Kiinteistöllä voi olla vesijättöä, jolloin osa ranta-alueesta ei kuulu kiinteistölle tai kiinteistön rajat voivat ulottua myös pitkälle vesistön puolelle. (10, s. 5.)

3.2 Kiinteistön ulottuvuus vesialueeseen

Kiinteistön maa- ja vesialueen kiinteistöraja on määritetty alueen viimeisimmässä lainvoimaisessa toimituksessa, joka on monessa tapauksessa jopa isojaon aikainen toimitus. Kun rantarajaa ei ole käyty moneen kymmeneen vuoteen, saattavat kiinteistörekisterikartan rantaraja ja todellinen rantaviiva maastossa olla muodoltaan ja sijainniltaan aivan eri paikoissa.

Kiinteistön ulottuvuutta määrittäessä luonnolliset rajat kuten rantarajat ovatkin ongelmallisia. Kiinteistörajat ovat pysyviä, vaikka kiinteistön luonnollinen olomuoto muuttuisikin fyysisesti. Kiinteistöraja ei muutu maaston muovautuessa, vaan kiinteistörajat perustuvat viimeiseen lainvoimaiseen toimitukseen. (11, s. 4.)

Luonnollinen raja mitataan aina kiinteistötoimituksessa mittausluokissa 1–3, jos käytävissä ei ole luotettavaa tietoa siitä, että rekisterikartan rantaraja on oikein kartalla. Maastotietokantaa voidaan käyttää mittausluokassa 4. Kun rantarajan ulottuvuus on epävarma, tulee suorittaa rajankäynti vesialuetta tai vesijättöä vastaan mittausluokasta huolimatta. (13)

Tavallisimpana lunastustoimituksen tapauksena voidaan pitää ranta-alueita, johon on syntynyt vesijättöä maankohoamisen seurauksena. Vesijättömaan ulottuvuus määräytyy tässä tapauksessa nykyisen keskivedenkorkeuden (MW) (kuva 2) ja isojaon aikaisen ”vanhan” rantaviivan mukaan. (12, s. 27.) Nykyinen keskivedenkorkeus eli MW vastaa vedenkorkeuden pitkäaikaisen keskiarvon odotusarvoa.

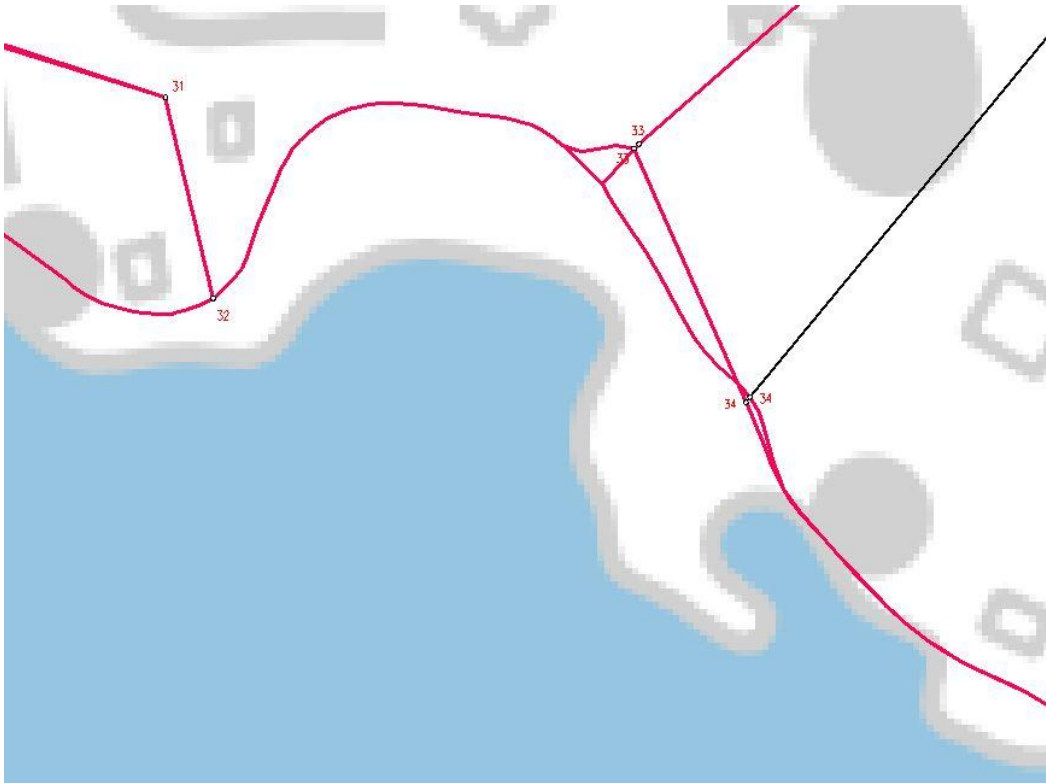


Kuva 2. MW eli keskivedenkorkeus löytyy usein peruskartoista.

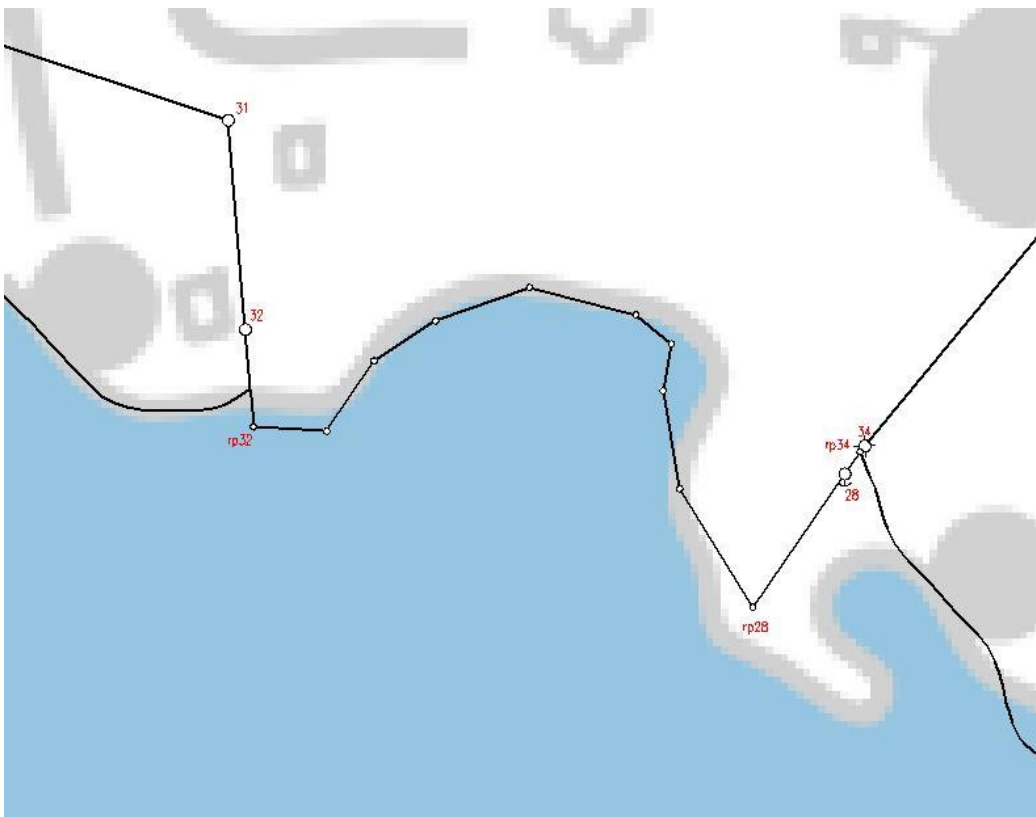
3.3 Vanhojen kiinteistörajojen tuominen

Kiinteistöjen rantarajat on digitoitu usein kiinteistörekisterikartalle vanhalta toimituskartalta, jossa rantaraja on viimeistä kertaa käyty lainvoimaisesti. Vanha toimituskartta skannataan, valitaan vastinpisteet ja upotetaan kiinteistökarttasovellukseen, jonka jälkeen vanha rantaraja voidaan digitoida kiinteistörekisterikarttapohjalle. Ainoastaan tämän keinon käyttäminen rantarajan määrittämisessä on kuitenkin hyvin kyseenalaista, koska vanhat kartat voivat olla piirtotarkkuudeltaan jonkin verran epätarkkoja. Tämän takia rantarajan varmistamiseen käytetään myös muita apukeinoja, kuten vanhoja rajamittoja, tai fyysisiä asioita, kuten maastosta löytyviä selkeitä rantapenkkoja. (10, s. 8.)

Kun rantaraja on digitoitu vanhalta toimituskartalta saattaa, rantaraja poukkoilla kiinteistörekisterikartalla maan ja veden välillä, vaikka rantaviiva maastossa olisikin aivan selkeä. Kun taas rantaraja on käyty tuoreessa kiinteistötoimituksessa, sopivat alueen fyysinen ja kiinteistöllinen ulottuvuus hyvin yhteen. Rantaraja-asiaa havainnollistetaan kuvissa 3 ja 4.



Kuva 3. Kiinteistön rantaraja, joka on tulkittu ja digitoitu vanhalta toimituskartalta.

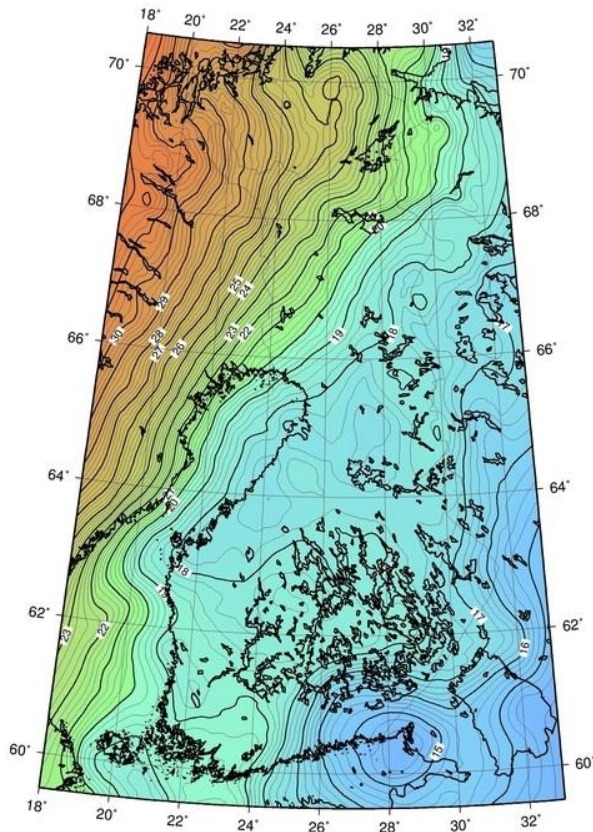


Kuva 4. Sama kiinteistö vesijätönlunastuksen jälkeen.

4 Case Vuohensaari

4.1 Vuohensaaren geoidikorkeus

Vuohensaaren rantarajan määrittämiseen käytimme FIN2005-geoidimallin (kuva 5) mukaista korkeutta N2000-korkeusjärjestelmää. Nollavedenkorkeus alueella on noin 17 cm.



Kuva 5. FIN2005-geoidimalli.

4.2 UAV-kuvausprosessiin tutustuminen

Tämän insinööriyön teknisenä puolena osallistuin Geotrimin järjestämään starttipakettipäivään, jossa tutustuttiin Geodronen X4L -kopteriin ja UAV-kuvausprosessiin. Tilaisuuden teoriaosuus pidettiin Salon kaupungintalolla ja lennätys järjestettiin Salon Vuohensaarella. Tilaisuuteen osallistui myös Maanmittauslaitoksen PETO- ja ARTO-prosessin työntekijöitä.

UAV-lentoprosessi voidaan jakaa seuraaviin työvaiheisiin:

1. Kuvausalueen rajaaminen ja lentosuunnitelman teko PC-sovelluksella
2. Kaluston ja kamera-asetusten tarkistaminen
3. Runkopisteiden määrittäminen, signalointi ja mittaus
4. Lennätyksen toteuttaminen
5. Lennätyksen jälkeinen kontrolli ja tarkastukset
6. Datan jälkikäsittely (4, s. 12)

4.3 Kuvattavan alueen sijainti

Tarkoituksena UAV-lennätyksessä oli saada korkeustietoa Salossa sijaitsevan Vuohensaaren ranta-alueista. Erityisen kiinnostuksen kohteena oli se, mihin korkeustarkkuuksiin voitaisiin päästä UAV-lennätyksillä. Alun perin mitattavia alueita oli kaksi, toinen saaren itäpuolella ja toinen saaren eteläpäässä (kuva6).



Kuva 6. UAV-kuvauksen suunnitellut lennätysalueet.

Valitettavasti lennätysaluetta 2 ei pystytty lennättämään, koska Vuohensaaren silta oli remonttityössä ja ajoneuvolla ei pystynyt kulkemaan sillan yli. Teoriassa lennätyksen olisi voinut suorittaa lennätysalue 1:n lennätysalueen lähtöpaikalta, mutta lainsäädäntö olisi estänyt sen, koska OPS M1-32:n mukaan kaikkien lennätysten tulee olla näköyhteyden perustuvia. (8)

4.4 Lennätyksessä käytetty kalusto

Lennätyksessä käytimme Geodronen X4L V4 -quadkopteria (kuva 7). Se on suomalaisen VideoDrone Finland Oy:n valmistama UAV-kopteri ja se soveltuu hyvin kartoitukseen sekä ortokuvaukseen. Sen paino on alle neljä kiloa, ja maksimi lennätysaika yhdellä akulla on 38 minuuttia. Kopterilla saa kuvattua maksimissaan noin 50 hehtaarin kokoisen alueen, mutta täytyy muistaa, että kaiken lennätyksen tulee olla näköyhteyden perustuvaa. (15)

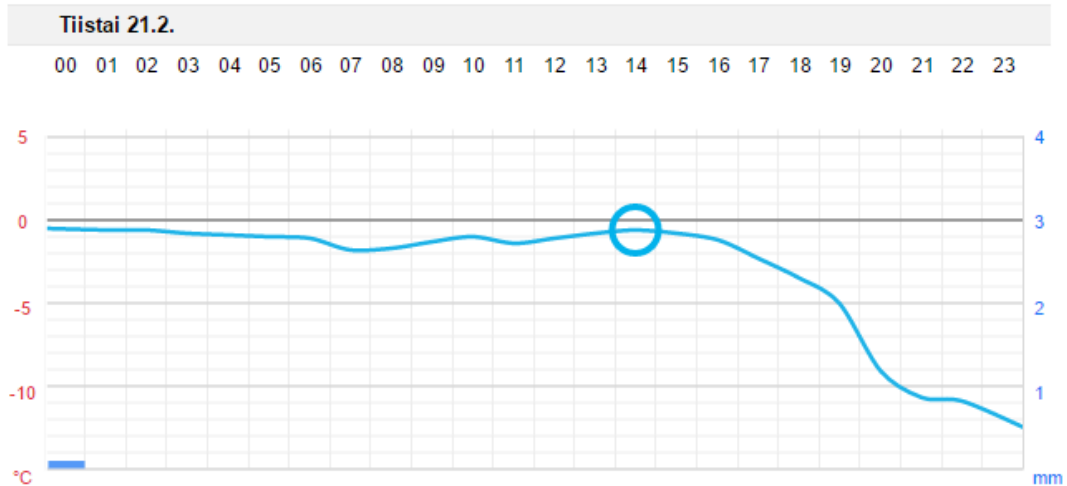


Kuva 7. Geodronen X4L V4 -quadkopteri.

UAV-kopteriin on kiinnitetty Sonyn hybridikamera a6000 20 mm:n objektiivin kanssa. Kamerassa on 24 megapikseliä, ja sillä päästään 3,5 senttimetrin maastoresoluutioon 150 metrin korkeudessa. (15)

4.5 Sääolosuhteet kohteessa

Kun lennätystä suunnitellaan, täytyy sääolosuhteet ottaa myös huomioon. Geodronen X4L-kopterilla suositeltavat tuulirajat olivat vallitsevan tuulen osalta 8 m/s ja puuskittaisen tuulen osalta 12 m/s. Jos on todella kylmää voi lämpötila vaikuttaa kopterin akkujen keston. (14, s. 3.)



Kuva 8. Sääolosuhteet kuvauksen aikana.

Mittauspäivänä aurinko paistoi kirkkaalta taivaalta ja lämpötila oli hiukan pakkasen puolella. Tuulta oli noin 3–4 m/s (kuva 8).

4.6 Lentosuunnitelman toteuttaminen

Lentosuunnitelman toteuttamiseen käytämme VideoDronen groundstation PC -sovellusta ja siitä versiota 2.9.1.

Ensimmäiseksi suunnittelimme karttatasolle reitin, jonka haluamme kuvata UAV-prosessissa ja josta haluamme dataa. Perinteisesti lentoreitit ovat suorakulmaisen muotoisia, mutta kuvausalue voi myös olla nauhamainen eli pitkä ja kapea, jolloin turhaa peittoa tulee mahdollisimman vähän. Koska tarkoituksemme oli UAV-kuvata Vuohensaaren rantaviivaa, yritimme tehdä kuvaussuunnitelmasta mahdollisimman nauhamaisen ja järkevän, jolloin turhaa lentoa tulee mahdollisimman vähän. (Kuva 9.)

Kun kuvausalue on saatu rajattua, valitaan photogrammetrytyökalun avulla kuvaukselle sopivat mittausarvot. Mittaukselle valitaan sopivat peittoasteet pituus- ja sivuttaissuunnassa, sopiva GSD eli kuvan maanerotuskyky (senttimetreinä per pikseli), sopiva lentonopeus ja kameran kulma kuvauksissa. Lentosuunnittelussa tulee asettaa myös lähtö- ja laskupaikat kopterille. Kuvaukselle voi valita myös muita parametreja, kuten kopterin kääntötapa, mutta yllämainittuja parametreja pidetään oleellisimpina.

Kun tavoitteena on saada mahdollisimman tarkkaa mittausdataa, on kuvien peittoasteiden oltava mahdollisimman suuria, jolloin kuvilla on riittävä päällekkäisyys. Kun päällekkäisyyttä on pituus- ja sivuttaissuunnassa riittävästi, saadaan kohteesta stereomalli, josta voidaan jälkikäsitteilyllä muodostaa esim. pintamalli ja ortokuva. Vuohensaaren kuvauksissa käytimme pituus- ja sivuttaispeittoasteina 80 %.

GSD:n arvot eli arvioidut kuvan maanerotuskyvyt (senttimetreinä per pikseli) olivat seuraavat käytettäessä Sonyn järjestelmäkamera A6000 20 mm:n objektiivin kanssa:

GSD 3 cm = Lentokorkeus 150 m

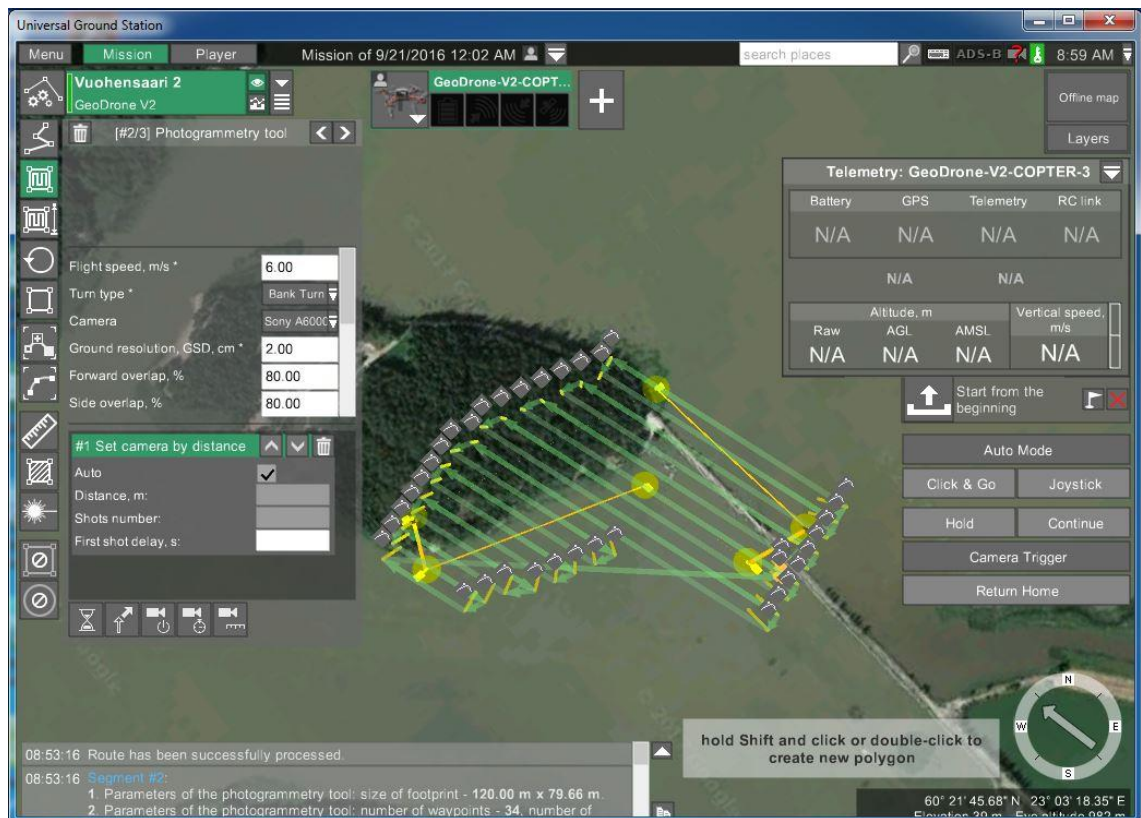
GSD 2 cm = Lentokorkeus 100 m

GSD 1,5 cm = Lentokorkeus 75 m (16, s. 10).

Asetimme lentokorkeudeksemme 100 m, jolloin kuvan maanerotuskyky on 2 cm/pikseli. Lentonopeuden pidimme oletuksena eli 6 m/s ja kuvat otettiin nadiirikuvina, jolloin kuvat otetaan kohtisuoraan alaspäin.

Kun vaadittavat ominaisuudet on asetettu, laskee ohjelma lentolinjat alueelle. Kuvaus- aluetta ja lentolinjoja voi muuttaa vielä lentolinjojen laskun jälkeenkin. Oleellista on seurata kuvauksen kokonaisaikaa, jonka tulee pysyä kopterin maksimilentoajan puitteissa.

Kuvassa 9 Vuohensaaren lentosuunnitelma.



Kuva 9. Vuohensaaren lentosuunnitelma.

4.7 Maastotyöt, valmistelu ja kuvauslento

Tarkoituksenamme oli signaloida Vuohensaaren ranta-alueet ennen UAV-kuvausta. Tavoitteenamme oli sijoittaa tukipisteet eli signaalit kuvausalueen jokaiselle reunalle ja yksi kuvausalueen keskelle. Signaaleja käytetään UAV-kuvauksissa, jotta ilmakuvat saataisiin georeferoitua tarkasti. Koska sopivia signaaleja ei löytynyt ja ajanpuutteen takia emme ehtineet sellaisia valmistamaan, mittasimme alueelta tarkkoja pisteitä, jotka näkyisivät ilmakuvissa. Tukipisteeksi voi siis mitata minkä tahansa kohteen, jonka pystyy erottamaan kuvilta. Mittaukset teimme satelliittimittauksella ja käytimme keskiarvomenetelmää, jotta pääsisimme riittävään tarkkuuteen

Ennen kuin varsinaista lennätystä voidaan aloittaa, on kalusto tarkistettava, jotta se on toimintakunnossa. Kopterin rungon tulee olla ehjä, eikä kopterin lavoissa saa olla halkeamia.

Seuraavaksi asetetaan akku ja kopteri kalibroidaan. Kalibroinnissa kopteria pyöritetään hitaasti pysty- ja vaakasuuntaan. Kun kopteri on päällä ja GPS-yhteys on saatu, kokeimme myös kameran toiminnan. Vielä viimeisenä muodostettiin yhteys kopterin ja tietokoneen välille, ja sen jälkeen kopteri oli lentovalmis.

Nousu- ja laskeutumistaikojen valinnassa on katsottava, että ympärillä on riittävästi tilaa kopterin toiminnalle eikä haitallisia esteitä kuten liikennemerkkejä tai sähkölinjoja ole kopterin liiallisessa läheisyydessä.

Kopterin nousut ja laskut tehdään manuaalisesti, muuten kopteri noudattaa ennakkoon tehtyä lentoreittiä. Ensimmäiseksi kopteri nostetaan sopivaan lentokorkeuteen, jonka jälkeen tietokoneelta laitetaan autopilotti päälle. Tämän jälkeen kopteri lähti toteuttamaan haluttua lentosuunnitelmaa. Lennätystä tähystettiin nousupaikalta ja lennon kulkua pystyi myös seuraamaan tietokoneen näytöltä. Vaikka kopteri hoitaa lentosuunnitelman automaattisesti, tulee kopterin ohjaajan pitää ohjainyksikkö käsissään mahdollisten ongelma- ja vaaratilanteiden takia. Kun kopteri oli lentänyt suunnitellun alueen, se palasi lähtöpaikallensa, josta se laskettiin maahan manuaalisesti.

4.8 UAV-kuvauksesta saatu aineisto

Vuohensaaren kuvauksista (kuva 10) saatiin yhteensä 323 ilmakuvaa 100 metrin korkeudelta.



Kuva 10. Esimerkkikuva Vuohensaaren lennätystä.

Joissakin kuvissa oli liikkeestä johtuvaa epäterävyyttä tai liike-epäterävyyttä, joka heikentää kuvista laskettavan fotogrammetrisen pistepilven tarkkuutta. Kirkas sää aiheutti myös jonkin verran varjostumia kuvausalueelle. Ongelmaa aiheuttaa myös maaston valkoisuus, joka vaikeuttaa pistepilven laskentaa.

Kuvauksesta saatiin myös jokaisen kuvan koordinaatti-, korkeus- ja kallistustiedot tekstitiedostona (kuva 11).

5	DSC02772,	60.36729880,	23.07502758,	+103.8,	+1.1,	+4.2,	+256.3
6	DSC02773,	60.36725451,	23.07476838,	+103.3,	+1.5,	+2.5,	+256.2
7	DSC02774,	60.36721075,	23.07451032,	+103.0,	+0.7,	+4.9,	+255.4
8	DSC02775,	60.36716585,	23.07425640,	+103.3,	-0.3,	+5.1,	+254.8
9	DSC02776,	60.36711910,	23.07399629,	+103.0,	+1.6,	+3.8,	+254.7
10	DSC02777,	60.36707444,	23.07374280,	+103.3,	-0.1,	+6.3,	+254.6

Kuva 11. Kopterista saatua koordinaatti-, korkeus- ja kallistustietoa.

5 Datan jälkikäsittely

UAV-kuvauksesta saatu aineisto jälkikäsitellään PC-sovelluksella, ja se vie huomattavasti enemmän aikaa kuin itse kuvaaminen. Ohjelmistoja tulee osata myös käsitellä, vaikka moni sovelluksen laskenta toimii automaattisesti. Tämän opinnäytetyön jatkokäsittelyn ohjelmistoa mietittiin kahden sovelluksen välillä, jotka olivat Pix4dMapperPro ja Agisoftin Photoscan pro. Kummastakin sovelluksesta sai täysversion kokeiluun Pix4dMapperPro:n kahdeksi viikoksi ja Agisoftin Photoscan pro:n kuukaudeksi. Jatkokäsittelyn ohjelmistoksemme valitsimme Pix4dMapperPron, jonka Geotrimin edustaja esitteli meille koulutuspäivänä.

5.1 Ennen ohjelmistojen käyttämistä

Kun kuvauslento on tehty ja kuvausaineiston määrään ollaan tyytyväisiä, voidaan raakakuvat siirtää tietokoneelle. Tässä vaiheessa voidaan manuaalisesti poistaa esimerkiksi kameran toimintatestauksesta aiheutuneet ylimääräiset valokuvat ja/tai epäterävät valokuvat, joita ei tarvita jatkoprosessoinnissa. Esimerkkinä kuva 12. Myös ilmakuvien koordinaatti- ja kallistustiedot saadaan uloskirjoitettua UAV-lennokista. Tässä vaiheessa on syytä myös varmuuskopioida ilmakuvat vähintään yhdelle lisälaitteelle.



Kuva 12. Ennen kuvauslentoa otettu testivalokuva.

5.2 Pix4DMapper-prosessointi

Prosessointi aloitetaan uuden projektin luomisella ja tuomalla ilmakuvat sovellukseen. Kun kuvat on tuotu sovellukseen lisätään niille kuvan koordinaatti-, korkeus- ja kallistus-tiedot eli orientointitiedot. Tiedot tuodaan kuville erillisellä tekstitiedostolla, mutta tietoja voi muuttaa vielä manuaalisesti, kun ne ilmestyvät kuvien ominaisuustietoihin. Prosessointiin valitaan myös haluttu koordinaattijärjestelmä, kuvauksessa käytetty kameramalli ja käytetty objekti. Viimeisenä valitaan lopputuotteet, jota aineistosta on tarkoitus jalostaa. Valitsimme vaihtoehdon 3DMaps, josta saadaan tulokseksi pistepilvi, 3D-kolmioverkko, digitaalinen pintamalli sekä ortokuvamosaiikki. Vaihtoehdosta 3DMaps saadaan myös korkeuskäyrät, jotka erityisesti kiinnostivat rannan korkeuden määrittämisen vuoksi. Prosessointiin voidaan myös valita pikavaihtoehto, jolloin prosessointi on nopeampi, mutta lopputuotteet heikompi laatuista

5.2.1 Tukipisteiden lisääminen

Kuvamateriaalin tuottamiseen voidaan käyttää tukipisteitä, mutta se ei ole kuitenkaan pakollista lopputuotteiden tuottamiseen. Prosessointimateriaali on sisäisesti tarkkaa ilman tukipisteitäkin, mutta ulkoiseen tarkkuuteen vaaditaan aina tukipisteiden käyttöä. Sisäisellä tarkkuudella tarkoitetaan, että kuvien sisäinen orientointi on tarkkaa ja tällaista materiaalia voidaan käyttää esimerkiksi alueiden visuaaliseen havainnointiin. Jos aineisto on ulkoisesti tarkkaa, se on sidottu tunnettuun koordinaattijärjestelmään ja aineistosta on mahdollista saada myös mittaustuloksia. Jälkimmäisenä mainittua aineistoa voidaan käyttää suoraan mittaukseen esim. tietty korkeuskäyrä voidaan merkitä maastoon. Toimme GNSS-mittauksella mitatut tukipisteet (kuva 13) GCP/MTP managerin avulla ohjelmaan.

	A	B	C	D	E
1	tp7	60300	6694542.3	23503929	1.971
2	tp6	60300	6694640.9	23503951	2.970
3	tp8	60300	6694734.4	23503953	0.700
4	tp5	60300	6694771.2	23503977	0.881
5	tp4	60300	6694880.1	23504012	0.232
6	tp3	60300	6694915.9	23503969	0.673
7	tp1	60300	6694922.6	23504192	0.838
8	tp2	60300	6694925.8	23504116	1.011

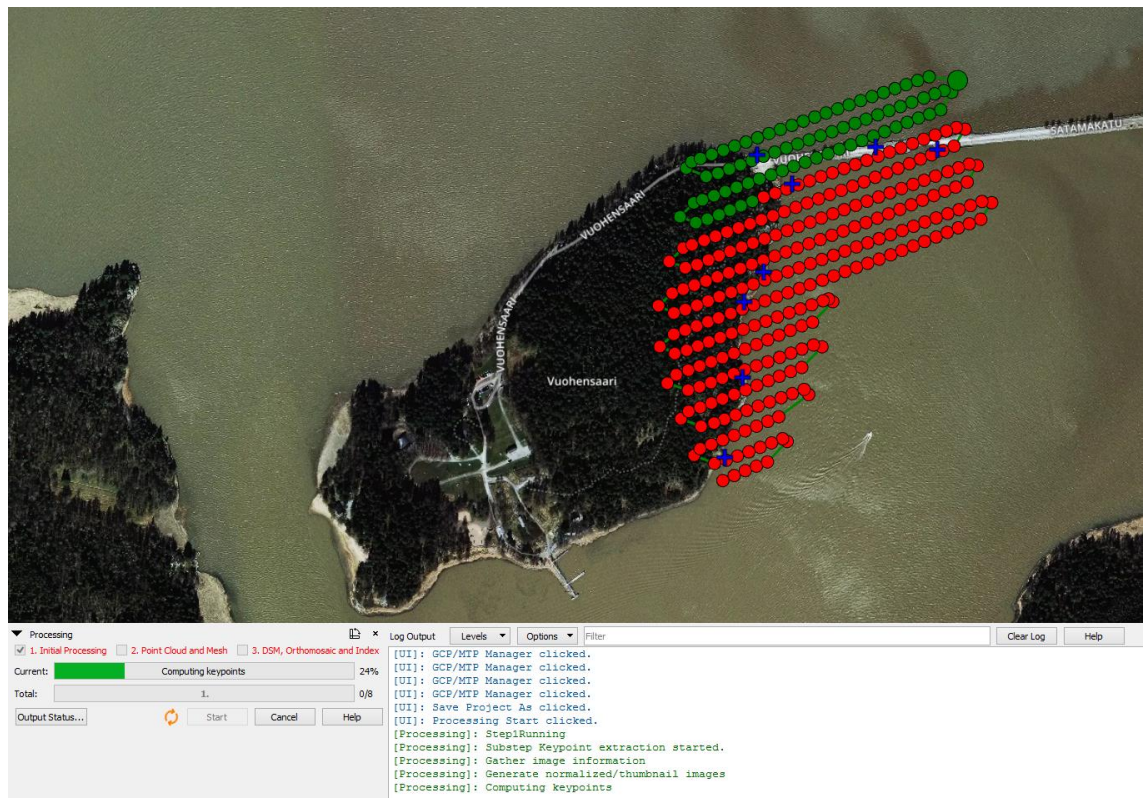
Kuva 13. Vuohensaaren tukipisteet.

Pix4DMapperissa on kolme eri vaihtoehtoa tukipisteiden hyödyntämiseen. Metodien väliä valitaan sen perusteella, millainen sijaintitieto kuvilla on, mitä koordinaattijärjestelmää niissä käytetään ja mitä tuotteiden koordinaattijärjestelmältä halutaan. Käytimme prosessointiin metodia, jossa sekä kuvat että tukipisteet ovat tunnetussa koordinaattijärjestelmässä.

GCP/MTG managerin avulla tukipisteille valitaan tarkat paikat, joissa GNSS-mittaus ollaan suoritettu. Tässä vaiheessa ei tarvitse valita jokaista tukipisteen paikkaa, vaan riittää, että valitsee kolmesta tai neljästä ilmakuvasta. Itse valitsin varmuuden vuoksi viidestä ilmakuvasta tukipisteiden sijainnit, minkä jälkeen ohjelma tulkitsee kohteet muilta kuvilta. Kun ohjelma on tulkinut automaattisesti pisteet, ne on vielä syytä tarkistaa manuaalisesti, jotta automaattitulkinna virhettä ei tapahdu.

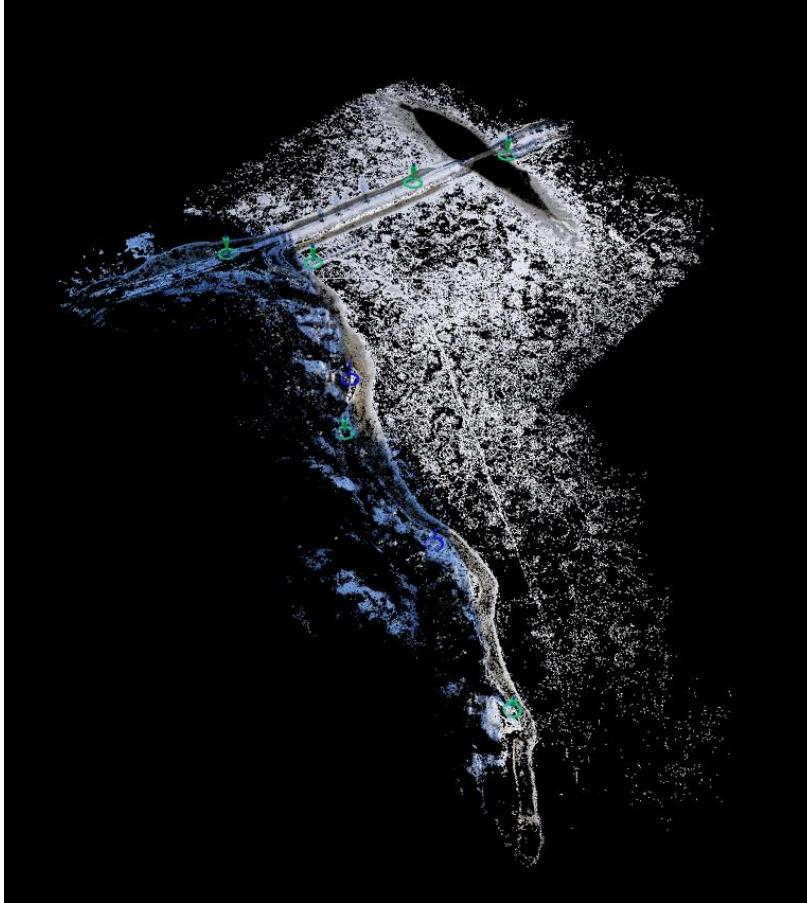
5.2.2 Ilmakolmioinnin luominen

Ensimmäisessä prosessointivaiheessa (kuva 14) eli alkuprosessoinnissa kuville tehdään blokkitasoitus/ilmakolmiointi. Tällä tarkoitetaan sitä, että ilmakuvauksen kuvamateriaali orientoidaan keskenään liitospisteiden avulla. (17)



Kuva 14. Ensimmäinen prosessointivaihe käynnissä.

Tuotteeksi ensimmäisessä prosessointivaiheessa saadaan pistepilvi (kuva 15), joka on hyvin samankaltainen laserkeilausaineistosta saatavan pistepilven kanssa. Se on vielä pistetiheydeltään melko harva, ja sen kolmiulotteisuus on vielä varsin huono.



Kuva 15. Vuohensaaren ensimmäinen pistepilvi.

Jokaisesta prosessoinnista ohjelma luo laaturaportit, jotka tulee katsoa läpi, jotta prosessointi on varmasti onnistunut. Varsinkin "quality check" (kuva 16) on tärkeä kohta, koska siitä selviää, ovatko prosessoinnin eri osavaiheet onnistuneet. Tässä ilmakuva-aineistossa ohjelma oli hylännyt kuvia alueen reunoilta, mutta se ei vaikuttanut lopputulokseen, koska halusimme tietoa vain ranta-alueilta.

Quality Check i

🔍 Images	median of 25229 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	286 out of 323 images calibrated (88%), all images enabled	⚠️
🔍 Camera Optimization	0.34% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
🔍 Matching	median of 7697.64 matches per calibrated image	✅
🔍 Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.029 m	✅

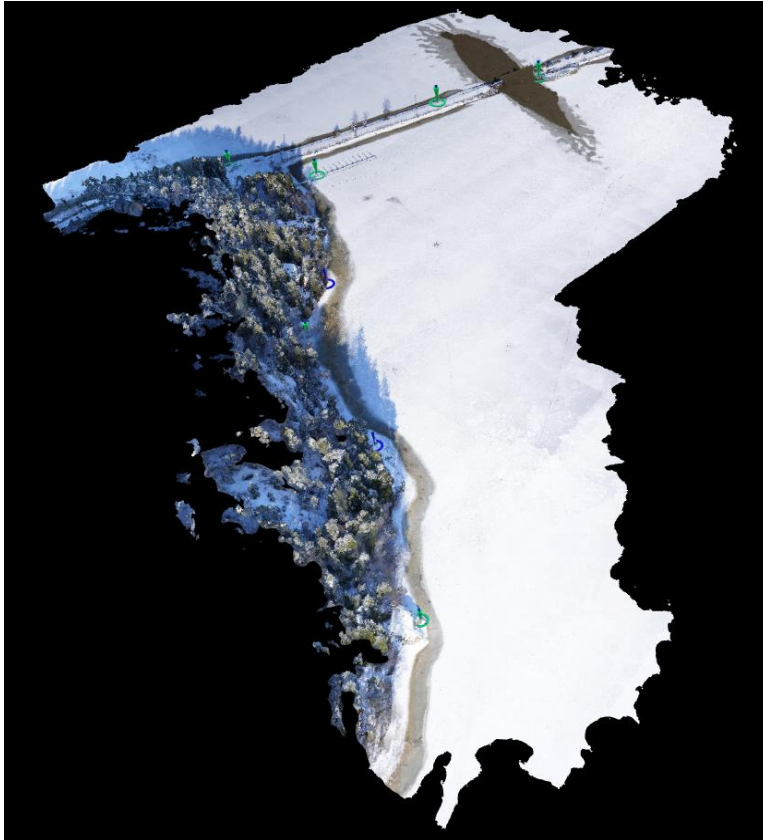
Kuva 16. Prosessoinnin "quality check".

Laaturaportista on syytä katsoa, kuinka tarkasti tukipisteiden orientointi onnistui. Jos alueelle on mitattu ylimääräisiä tukipisteitä, voidaan huonon tarkkuuden tukipisteet poistaa, jotta lopputuloksissa saataisiin tarkempaa dataa.

Ensimmäisen prosessointivaiheen jälkeen ohjelman voi laittaa etsimään automaattisesti loput ilmakuvat, joilla tukipisteet näkyvät.

5.2.3 Tihennetty pistepilvi ja 3D-verkkomalli

Ilmakolmioiden ja ensimmäisen pistepilven luomisen jälkeen, aineistolle rakennetaan tihennetty pistepilvi. Tihennetty pistepilvi on kolmiulotteinen ja siitä voi havainnoida esimerkiksi rantakallion korkeuseroja. Tämän jälkeen voidaan myös luoda 3D-verkkomalli, joka on pisteiden pohjalta luotu verkkomainen rakenne (kuva17).



Kuva 17. Vuohensaaren 3D-verkkomalli.

5.2.4 Digitaalinen pintamalli, ortokuvamosaiikki ja korkeuskäyrät

Viimeisessä prosessointivaiheessa aineistolle luodaan digitaalinen pintamalli, ortokuvamosaiikki ja korkeuskäyrät. Ortokuvassa poistetaan kuvan kallistuskulmasta ja maaston korkeuseroista aiheutuvat mittakaavan vaihtelut ja tämän jälkeen kaikkien oikaistujen kuvapisteiden kuvamittakaava on sama. (18) Ortokuvamosaiikista (kuva 18) näkee parhaiten tyhjät kohdat alueen reunoilla, joissa sijaisivat kuvat, jotka eivät orientoituneet ensimmäisessä prosessointivaiheessa. Näillä orientoimattomilla kohdilla ei ollut väliä, koska tässä työssä kiinnostuksen kohteena on ranta, jonka kuvat ovat orientoituneet hyvin.



Kuva 18. Vuohensaaren ortokuvamosaiikki.

Korkeuskäyriä prosessoitiin 17 cm:n, 47 cm:n ja 77 cm:n korkeuksille. Alueen nollavedenkorkeus on noin 17 cm (kuva 19), joten se erityisesti kiinnosti meitä rantarajan määrittämisen takia. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoista prosessoidut korkeuskäyrät olivat myös 30 cm:n välein, joten prosessoimme myös tässä samat korkeuskäyrät eli 47 cm ja 77 cm. Resoluutiona käytettiin 100cm ja korkeuskäyrät saa Pix4DMapperista ulos shp-, pdf- ja dxf-tiedostomuodoissa. Heikkoutena Pix4DMapperin korkeuskäyrien prosessoinnissa on, että maksimikorkeutta ei voi määrittää, jolloin jokainen (17 cm, 47 cm ja 77 cm) korkeuskäyrä piti prosessoida erikseen. Toisin sanoen mittauksista ei voi erottaa ainoastaan tiettyä korkeusväliä.



Kuva 19. Vuohensaaren 17 cm:n korkeuskäyrä.

Korkeuskäyrien nollaveden määrittämisessä ongelmaksi muodostui Vuohensaaren rannoilla oleva lumi ja jää. 17 cm eli nollaveden korkeuskäyrä ei tule oikeaan paikkaan, koska jäänpinta ja lumi sen päällä muuttaa korkeutta. Vaikka keskivedenkorkeus olikin +17cm (NN2000), oli jää muodostunut tämän keskivedenkorkeuden päälle lisäkorkeudeksi. Talviset olosuhteet ovatkin haastavat UAV-kuvauksella mitattavaan korkeuden määrittämiseen.

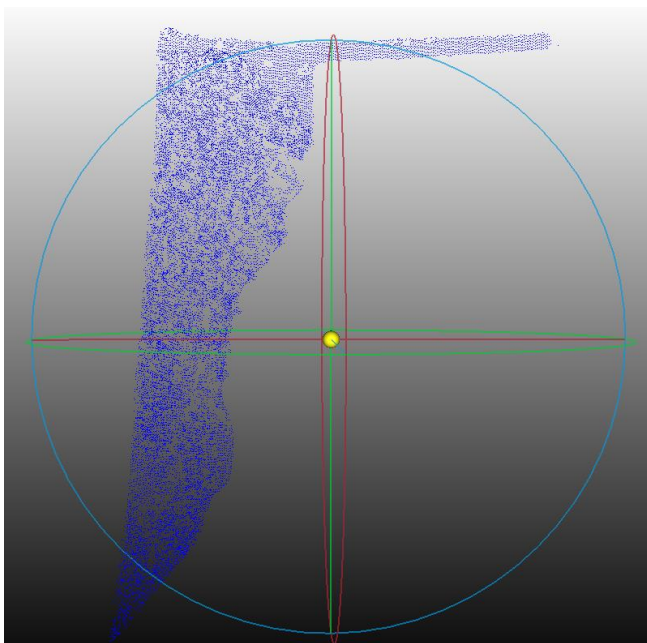
5.3 Laserkeilausaineisto

5.3.1 Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on kaikille avoin kolmiulotteinen pistemäinen aineisto maanpinnasta ja maanpinnalla olevista kohteista. Jokaisella pistepilven pisteellä on x, y, z -koordinaattitiedot ja pistetiheys aineistolla on 0,5 pistettä/m². Se on Maanmittauslaitoksen tarkin korkeustietoaineisto ja aineistoa kerätään mm. tarkan valtakunnallisen 2 m-korkeusmallin valmistamista varten. Laserkeilauslennot kuvataan n. 2 000 metrin korkeudelta ja pisteiden etäisyys toisistaan on keskimäärin enintään n. 1,4 m. Koordinaattijärjestelmä laserkeilausaineistolla on ETRS-TM35FIN. (19)

5.3.2 Laserkeilausaineiston rajaaminen

Laserkeilausaineisto rajaus avoimen datan palvelussa määräytyy TM35-lehtijaon perusteella. Ladattavan karttalehden koko on 3x3 km. (19) Tässä insinööriyössä kuvattu alue on paljon pienempi, joten aluetta on syytä rajata, jotta jatkokäsittely aineistolle sujuu paremmin. Pistepilven rajaamiseen voi käyttää Cloudcompare-nimistä sovellusta (kuva 20).



Kuva 20. Cloudcomparella rajattu pistepilvi.

Korkeuskäyrät irrotettiin 2 m -korkeusmallista QGIS-ohjelmalla Maanmittauslaitoksen MARA-prosessin toimesta. Korkeuskäyrät olivat mxl-muodossa, minkä jälkeen ne vietiin

JAKO-järjestelmään ja muunnettiin DXF-muotoon. DXF-muodossa olevat korkeuskäyrät saadaan näkyviin satelliittipaikantimissa.

5.4 Korkeustietojen tuominen 3D-Win-ohjelmistolla

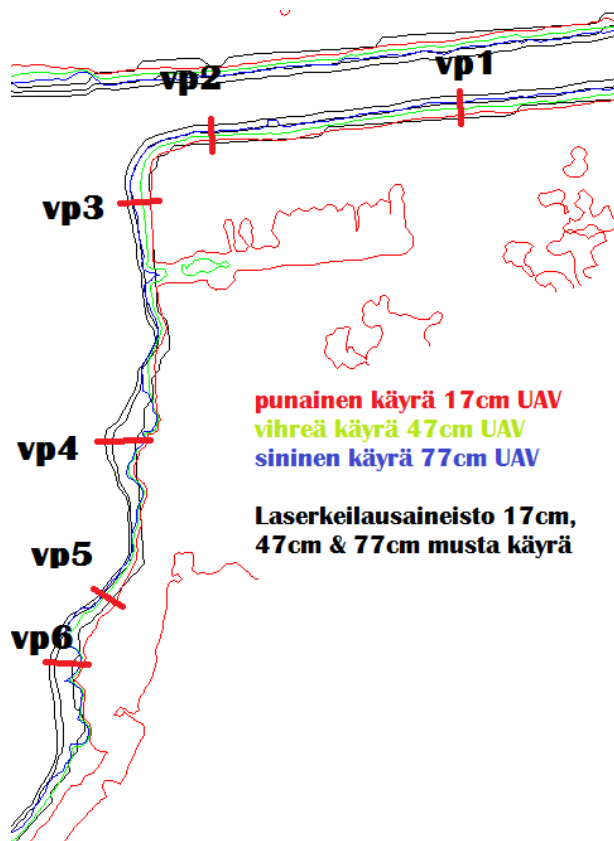
5.4.1 3D-Win-ohje

UAV-kuvista prosessoidaan maastomalli, minkä jälkeen saadaan laskettua alueelle myös korkeuskäyrät haluttujen korkeuksien mukaisesti. UAV-aineiston korkeuskäyriä ja laserkeilausaineistosta laskettuja korkeuskäyriä pystytään vertailemaan suomalaisen 3D-systemin kehittämällä pc-sovelluksella nimeltään 3D-Win. Sovellus on helppokäyttöinen ja välilehtien avulla aineistoja on helppo käsitellä. 3D-Win tukee laajasti eri tiedostomuotoja kuten yleisimpiä maastotallenninformaatteja, paikkatieto- ja CAD-järjestelmien siirtotiedostomuotoja ja käyttäjän vapaasti määrittelemiä riviformaatteja. (20, s. 3.) UAV-mittausten korkeuskäyrä oli ETRS-GK23-tasokoordinaatistossa ja laserkeilausmateriaalin korkeuskäyrä oli ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistossa, joten ensin piti suorittaa koordinaattimuunnos. UAV-aineiston korkeuskäyrät valittiin aktiiviseksi välilehdeltä ja niiden koordinaatisto muunnettiin ETRS-TM35FIN-muotoon. Muunnoksen jälkeen korkeuskäyrät ovat vertailukelpoisia.

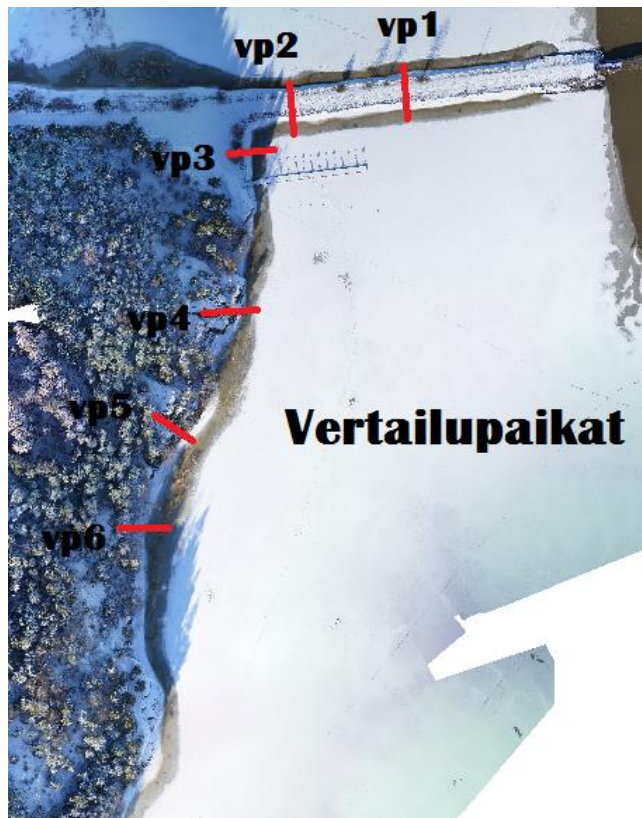
Korkeuskäyrien vertailemiseen käytin ohjelmasta löytyvää eromitat laskentasovellusta. Valitsin rannalta kuusi esimerkkipaikkaa, mahdollisimman monipuolisia ja erilaisia paikkoja, kalliosta tasaiseen rantaan. Jokaisella esimerkkipaikalla vertailin 17 cm:n, 47 cm:n ja 77 cm:n UAV- ja laserkeilauskorkeuskäyriä. Korkeuskäyrien vaakamatkaa verrattiin keskenään, eli sitä miten korkeuskäyrät asettuvat jälkikäsitellyssä toisiinsa nähden. Vertailupaikkojen mittauspaikat näkyvät kuvissa 20 ja 21.

Taulukko 1. UAV- ja laserkeilausaineistojen korkeuskäyrien vaakamatkojen eroavaisuudet.

vp = vertailupiste	17cm	47cm	77cm
vp1	0,597m	1,200m	1,372m
vp2	0,670m	0,802m	1,271m
vp3	0,029m	1,795m	0,670m
vp4	2,802m	6,503m	7,828m
vp5	0,698m	0,382m	0,457m
vp6	1,957m	4,207m	5,430m
keskiarvo:	1,123m	2,481m	2,838m



Kuva 21. Pix4DMapperillä prosessoidut korkeuskäyrät & korkeuskäyrien vertailupaikat.



Kuva 22. Korkeuskäyrien vertailupaikat Vuohensaaren ortokuvalla.

5.4.2 Mittaustulosten luotettavuus

Mittaustulosten erot olivat valtavat, joten luotettavuus mittauksilla oli huono. Onkin syytä pohtia, minkä takia näin suuret erot syntyivät kahden eri mittausaineiston välille.

UAV-mittausaineiston laaturaportin perusteella mittauksen tarkkuus oli sisäisesti sekä ulkoisesti tarkka ja virheet vastinpisteillä olivat keskimäärin 1–3 cm. Suureksi ongelmaksi mittauksessa tulivat talviset olosuhteet. Rantarajan varsinaista paikkaa on mahdoton määrittää, koska jää ja lumi nostavat rannan korkeutta. Aivan rannassa jää myös puskee rantaa vasten, mikä nostaa entisestään korkeutta rannalla. Jään paksuus Vuohensaaren edustalla oli mittausajankohtana 10–15cm. (21)

UAV-kuvausten maanpinnan korkeuden määrittämisessä ongelmaa aiheuttavat myös maanpinnan aluskasvillisuus ja korkea puusto. Puuston kanssa vaikeimpia paikkoja ovat kohteet, joissa puun oksat ulottuvat rantaviivan päälle. Näillä paikoilla maanpinta ei näy riittävän monella kuvalla, tai se ei näy ollenkaan, joten kuvista ei saada maanpintaa selville. Myös rantakaislikko hämää korkeuskäyriä pitkälti veden puolelle, maanpintaa ei saada laskettua kuvista, jos maanpinta ei näy. Tällaisilla ongelmapaikoilla korkeuskäyrät voivat olla karttapohjalla aivan väärin, eivätkä ne ole maanpinnan todellisia korkeuksia.

Laserkeilausaineisto on mitattu kesäaikaan, toisin kuin UAV-aineistot. Laserkeilausaineistot on mitattu 2 000 metrin korkeudelta, joten pistetiheys on 0,5 pistettä/m². Tällaisilla pistetiheyksillä on vaikea saada tarkkaa korkeusdataa. Varsinkin jyrkillä kohteilla pistetiheys ei ole riittävää, joten korkeuden luotettavuus näillä kohteilla on huono. Jyrkillä kohteilla pistetiheyden tulisi olla tiheämpää, jotta korkeuserot mallintuisivat paremmin. Yksiselitteisillä eli tasaisilla kohteilla korkeustarkkuudet ovat huomattavasti parempia.

Vuohensaaren laserkeilausaineisto on mitattu vuonna 2011, joten viimeisimmästä mittauksesta on kuusi vuotta aikaa. Onkin syytä pohtia, onko ranta-aluetta muokattu tänä aikana ja vaikuttaako maan kohoaminen rannan korkeuteen. Vuohensaaren ranta-alue on luonnonsuojelualue, joten maata on tuskin muokattu viimeisen kuuden vuoden aikana. Maan kohoaminenkaan ei ole näin lyhyessä ajassa ehtinyt merkittävästi vaikuttamaan.

5.5 Korkeuskäyrien tarkistaminen GNSS-mittauksella

Alueen korkeuskäyrien sijoittuneisuutta maastoon käytiin myös tarkistamassa GNSS-mittauksella. Mittauksella vertailtiin eri paikoissa UAV-, laserkeilausaineiston ja GNSS-mittauksen sijoittuneisuutta toisiinsa.



Kuva 23. 77 cm:n korkeuskäyrän sijoittuminen maastoon venelaiturin pohjoispuolella.

Kuvasta 23 huomaa, kuinka melko tasaisella maalla UAV-kuvauksen korkeus tulee lähemmäksi vedenrajaa, kuin todellinen GNSS-mittauksen 77 cm:n korkeus. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että aluskasvillisuus, jää ja lumi ovat vaikuttaneet rannan korkeuteen. Laserkeilausaineiston korkeuskäyrä sijoittuu GNSS- ja UAV-mittauksen väliin.



Kuva 24. 77 cm:n korkeuskäyrä venelaiturin eteläpuolella kalliolla.

Jyrkällä kalliolla UAV-aineistosta laskettu korkeuskäyrä sijoittuu tarkemmin oikeaan korkeuteen verrattuna GNSS-mittaukseen. Laserkeilausaineiston korkeuskäyrä oikoo kalliota ja sijoittuu liian korkealle kallion päälle. (Kuva 24) Tämä johtuu osittain siitä, että pistetiheys vuoden 2011 laserkeilausaineistolla ei ole riittävää jyrkkien maanpintojen mallintamiseen.



Kuva 25. Yleiskuva Vuohensaaren rannan mittausalueesta.

GNSS-mittauksista käy ilmi, että avonaisilla kallioalueilla fotogrammetrinen UAV-mittaus pääsee lähelle GNSS-mittauksen tarkkuutta. Tasaisten paikkojen tarkkuutta tämän työn mittauksissa ei voida samalla tavalla vertailla, koska näissä paikoissa jään pinta, lumi ja puusto vaikuttavat korkeuteen huomattavasti enemmän. Mittauksissa käy myös ilmi, että laserkeilausaineisto osuu yksiselitteisillä tasaisilla kohteilla melko hyvin GNSS-mittauksen kanssa, mutta jyrkillä paikoilla todella huonosti.

Kuvassa 25 on yleiskuva Vuohensaaren kuvatusta ranta-alueesta.

6 Pohdintoja

Fotogrammetrisillä UAV-ilmakuvauksilla päästiin sisäisesti ja ulkoisesti hyviin tarkkuuksiin. UAV-ilmakuvausprosessi oli helppo omaksua, ja laitteiston käsittelykin pystyy oppimaan nopeasti.

Ongelmaksi mittauksissa tulivat talviset olosuhteet, jonka takia varsinaista rantarajan paikkaa oli mahdoton määrittää. Lumi ja jää nostavat rannan korkeutta, jolloin 17cm nolavedenkorkeus tulee pitkälti veden puolelle. Fotogrammetrisiä UAV-ilmakuvauksia tehtäessä tulisikin ottaa huomioon vuodenaika ja sääolosuhteet. Ihanteellisimpina olosuhteina olisi lumeton maa, vähän peitekasvillisuutta ja alue, jolla on mahdollisimman vähän puita. Myös liiallinen auringonpaiste aiheuttaa varjostumia, joten pilvinen sää on otollisin UAV-kuvauksille. Tällaisia ihanneolosuhteita pääsisi parhaiten toteuttamaan mahdollisesti alkukeväästä tai loppusyksystä.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston tarkkuus yksiselitteisissä kohteissa on hyvä, mutta jyrkissä kohteissa huono. Pistetiheys ei ole riittävä mallintamaan epätasaisia maankohtia, joten niiden korkeudessa voi tulla suurtakin virhettä. Vesistöön ulottuvat rantarajat ovat harvoin yksiselitteisiä. Onkin kyseenalaista käyttää rantarajan määrittämiseen ainoastaan Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa, koska myös rantarajalla on päästävää riittävään RSK-tarkkuuteen.

Pienet laserkeilaimet ovat yleistyneet UAV-laitteissa, ja ne voisivatkin olla tarkoituksenmukaisempia UAV-mittaukseen. Pienillä laserkeilaimilla lentokorkeus on yleensä 40–50 metriä, ja niillä pistetiheys on paljon runsaampaa kuin 2 000 metristä suoritettavilla laserkeilauslennoilla. Ilman kalibrointiakin korkeustarkkuuksissa päästään alle 5 senttimetrin tarkkuuteen ja kalibroinnin jälkeen korkeustarkkuus on alle 3 cm. (22, s.29–30.)

Perinteisen fotogrammetrisen UAV-ilmakuvauksen käyttö lieneekin epätehokasta yleensä melko pienissä vesijätön lunastuksen toimituksissa. Kuvausalueen rajaaminen, kaluston ja kameran tarkistaminen, runkopisteiden määrittäminen ja signalointi ja lennätysten toteuttaminen vievät aikaa. Tässä ajassa alue pystytään yleensä mittaamaan perinteisellä GNSS-mittauksella tai takymetrimittauksella. Myöskään puusto tai kasvillisuus eivät vaikuta läheskään niin paljoa GNSS-mittauksiin tai takymetrimittauksiin kuin UAV-mittauksiin. Jälkikäsitellyssäkin UAV-kuvien prosessointi vie runsaasti enemmän aikaa kuin perinteinen pisteiden siirtäminen JAKO-järjestelmään.

Jos fotogrammetristä UAV-ilmakuvausta halutaan hyödyntää toimitustuotantoon, tulisi toimitusalueen mahdollisesti olla melko suuri tai sellainen, johon ei pääse perinteisin menetelmin helposti mittaamaan. Esimerkkialueita voisivat olla saarien/saaristojen UAV-ilmakuvaus, suurien peltoalueiden UAV-ilmakuvaus tai vaikeakulkuisten suoalueiden UAV-ilmakuvaus.

UAV-teknologia kehittyy, ja sitä käytetään maanmittauksessa jo moniin tarkoituksiin kuten maastomallien luomiseen, tilavuuksien laskentaan tai vaikkapa peltojen tarkistuksiin. Lainsäädännön määräykset rajoittavat tietyissä määrin UAV-toimintaa, mutta UAV-teknologialla on runsaasti kasvupotentiaalia maanmittausalalla.

Lähteet

- 1 Hassinen, Alpo. 2013. UAV-lennokit. Verkkojulkaisu. Mekrijärven tutkimusasema. Itä-Suomen yliopisto. <http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-2244-1/urn_isbn_978-952-61-2244-1.pdf> Luettu 29.11.2016
- 2 UAV or UAS. 2016. Verkkodokumentti. Unmanned Aerial Vehicle Systems Association. <http://www.uavs.org/index.php?page=what_is> Luettu 30.11.2016
- 3 Kallioinen, Ville. Laaksonen, Lauri. 2016. Metsän UAV-ilmakuvaus. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 4 Partonen, Ilkka. 2014. Pienellä UAV-lennokilla (sUAV) kerätyn datan pistepilven korkeustarkkuuksista – case Nokian Renkaat. Insinöörityö (YAMK). Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 5 UAV-linkit. 2016. Verkkodokumentti. Mekrijärven tutkimusasema. <<http://mekri.uef.fi/uav/uavlinkit.htm>> Luettu 4.12.2016
- 6 Maavoimien uusi Orbiter MUAS-lennokki: valvontaa, tulenjohtoa ja viranomaisten avustamista. 2016. Verkkodokumentti. Lentoposti. <http://www.lentoposti.fi/uutiset/maavoimien_uusi_orbiter_muas_lennokki_valvontaa_tulenjohtoa_ja_viranomaisten_avustamista_video> Luettu 20.12.2016
- 7 Miehittämätön ilmailu. 2017. Verkkodokumentti. Trafi. <http://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu> Luettu 03.01.2017
- 8 OPS M1-32. 2016. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Verkkojulkaisu. <https://www.trafi.fi/file-bank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf> Luettu 27.12.2016
- 9 OPS M1-32 perustelumuuisto. 2016. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Verkkojulkaisu. <https://www.trafi.fi/file-bank/a/1482415449/f3c93eaf88a6bc38f9f460fa10e4175c/23516-OPS_M1-32_VALMIS_perustelumuuisto_RPAS.pdf> Luettu 28.12.2016
- 10 Hämäläinen, Jussi. 2013. Rantaviiva kiinteistön rajana. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 11 Avula, Jaana. 2015. Laserkeilausmateriaalin hyödyntäminen vanhojen rantarajojen sijainnin määrittämisessä. Insinöörityö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta
- 12 Markkula, Markku. 2003. Vesijätön omistuksesta II. Verkkojulkaisu. Maankäyttö 3/2003. <http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk303/mk303_139_markkula.pdf> Luettu 15.1.2017


- 13 Määräys mittausten tarkkuudesta ja rajamerkeistä kiinteistötoimituksissa. 2011. Verkkojulkaisu. Maanmittauslaitos. < http://maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Maarays_mittaus_rajamerkit_21_4_2011.pdf > Luettu 20.1.2017
- 14 GeoDrone X4L V4 käyttöopas 2.4. 2017. Paperinen ohjekirja. VideoDrone Finland Oy.
- 15 GeoDrone X4L esittely. 2017. Verkkodokumentti. VideoDrone Finland Oy. < <https://videodrone.fi/geodrone-x4l/>> Luettu 24.2.2017
- 16 VideoDrone GS -käyttöohje 2.9.1. 2016. Paperinen ohjekirja. VideoDrone Finland Oy
- 17 Pix4Dmapper 3.1 user manual. 2016. Verkkojulkaisu. Pix4D. < <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf-#gsc.tab=0>> Luettu 26.2.2017
- 18 Haggren, Henrik. 2002. Fotogrammetrian yleiskurssi. Verkkodokumentti. Aalto-yliopisto. <<https://foto.aalto.fi/opetus/301/luennot/1/1.html>> Luettu 27.2.2017
- 19 Laserkeilausaineisto. 2017. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>> Luettu 01.03.2017
- 20 3D-Win aloitusohje versio 6.2. 2015. Verkkojulkaisu. 3D-system Oy. <http://www.3d-system.fi/ruubikcms/download.php?f=3d-win_aloitusohje_62.pdf> Luettu 05.03.2017
- 21 Jäätilanne. 2017. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/jaatilanne>> Luettu 10.03.2017
- 22 Tuominen Kjell. Sippo Mikko. Korpela Hannu. 2016. UAV-lidar, kartoittajan unelma vai painajainen? Verkkojulkaisu. Maankäyttö 3/2016. <http://www.maan kaytto.fi/arkisto/mk316/mk316_1935_tuominen_et_al.pdf> Luettu 18.03.2017



Pix4DMapper-prosessoinnin laaturaportti


Pix4DMapperin prosessoinnista automaattisesti luotu laaturaportti.



Generated with Pix4Dmapper Pro version 3.1.23

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






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

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

Summary

Project	vuhensaarenuav1
Processed	2017-02-28 18:50:11
Camera Model Name(s)	ILCE-6000_E20mmF2.8_20.0_6000x4000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.85 cm / 0.73 in
Area Covered	0.165 km ² / 16.5037 ha / 0.0638 sq. mi. / 40.8027 acres
Time for Initial Processing (without report)	02h:03m:49s

Quality Check

 Images	median of 25229 keypoints per image	
 Dataset	286 out of 323 images calibrated (88%), all images enabled	
 Camera Optimization	0.34% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 7697.64 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMS error = 0.029 m	

 Preview

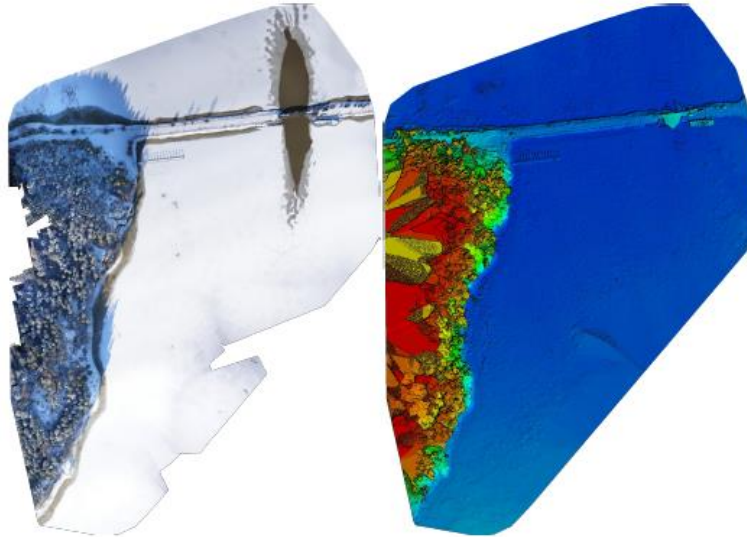



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	286 out of 323
Number of Geolocated Images	323 out of 323

 Initial Image Positions

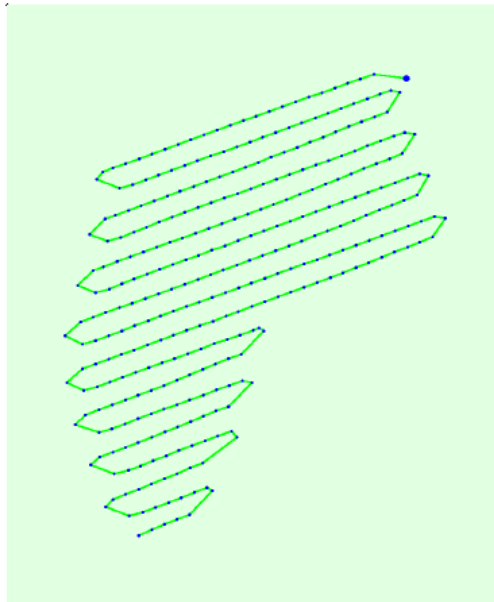



Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



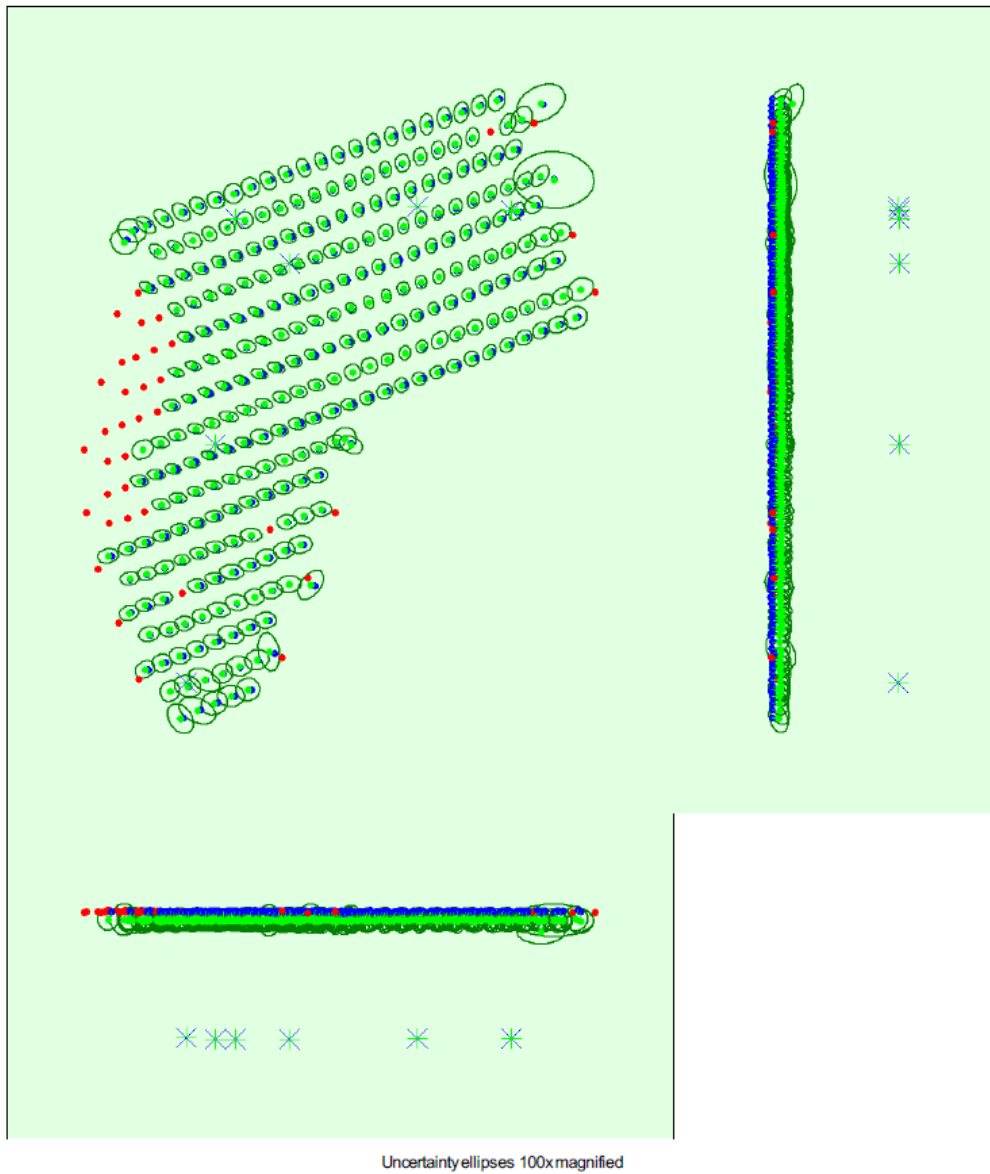


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled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

? Absolute camera position and orientation uncertainties 1

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.070	0.062	0.082	0.040	0.038	0.013
Sigma	0.023	0.019	0.009	0.015	0.013	0.013

? Overlap 1

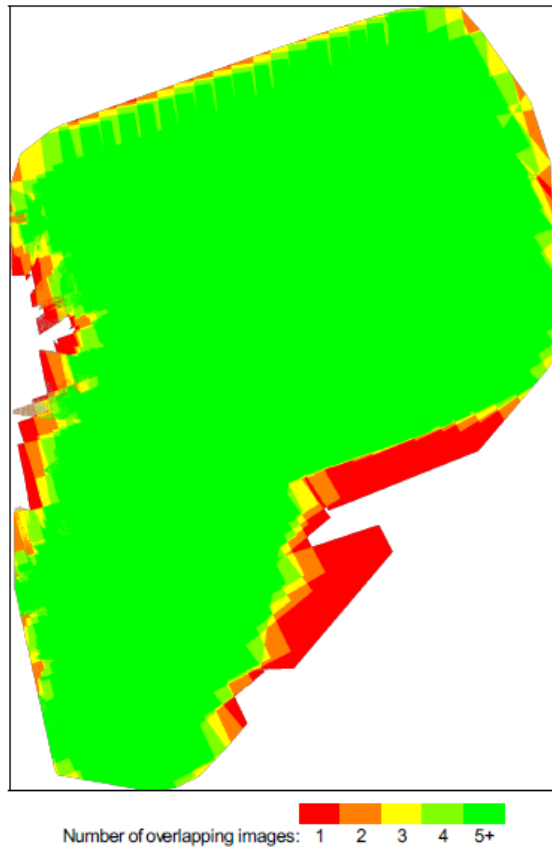


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details i

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2217883
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	731662
Mean Reprojection Error [pixels]	0.252

? Internal Camera Parameters

i ILCE-6000_E20mmF2.8_20.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.333 [mm] x 15.556 [mm]

EXIF ID: ILCE-6000_E20mmF2.8_20.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	5142.857 [pixel] 20.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.667 [mm]	2000.000 [pixel] 7.778 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	5160.358 [pixel] 20.068 [mm]	2968.633 [pixel] 11.545 [mm]	1992.474 [pixel] 7.749 [mm]	-0.021	0.026	0.008	-0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	3.666 [pixel] 0.014 [mm]	0.594 [pixel] 0.002 [mm]	0.465 [pixel] 0.002 [mm]	0.001	0.003	0.005	0.000	0.000

	<p>The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.</p>
--	--

2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	25229	7698
Mn	20122	194
Max	92913	16506
Mean	40124	7755

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	475955
In 3 Images	113911
In 4 Images	49921
In 5 Images	28325
In 6 Images	16868
In 7 Images	11444
In 8 Images	8189
In 9 Images	6035
In 10 Images	4551
In 11 Images	3498
In 12 Images	2873
In 13 Images	2138
In 14 Images	1726
In 15 Images	1371
In 16 Images	1063
In 17 Images	839
In 18 Images	753
In 19 Images	626
In 20 Images	498
In 21 Images	388
In 22 Images	253
In 23 Images	205
In 24 Images	141
In 25 Images	64
In 26 Images	20
In 27 Images	7

2D Keypoint Matches



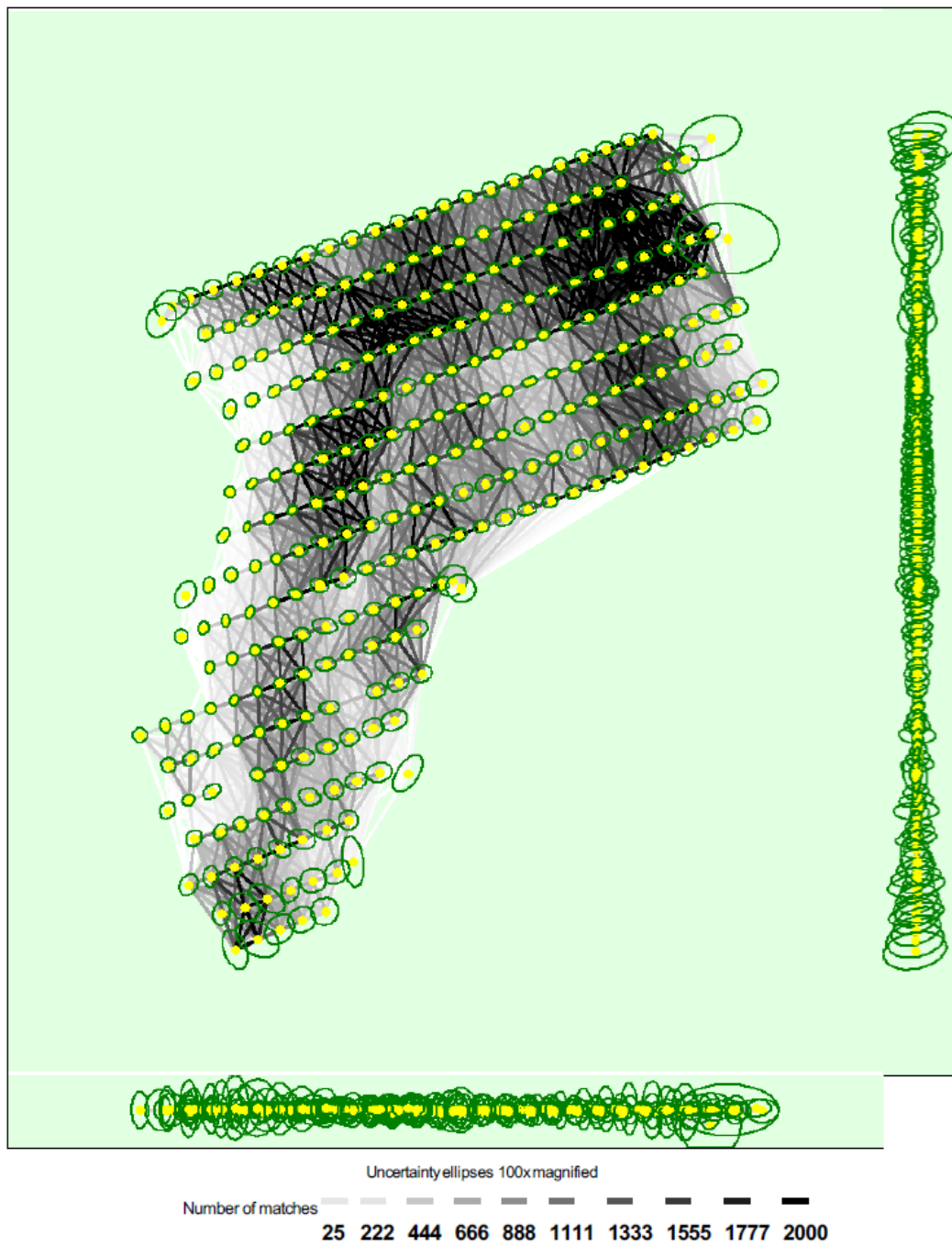


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty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

? Relative camera position and orientation uncertainties **i**

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.056	0.049	0.064	0.045	0.062	0.017
Sigma	0.023	0.020	0.036	0.023	0.027	0.015

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
tp1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	0.038	0.026	0.927	5 / 5
tp7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.041	0.016	-0.006	1.487	5 / 5
tp8 (3D)	0.020/ 0.020	0.068	-0.029	0.064	1.013	4 / 4
tp4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.032	-0.010	0.985	5 / 5
tp3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.025	0.012	0.020	1.253	5 / 5
tp2 (3D)	0.020/ 0.020	0.030	-0.010	-0.012	1.137	5 / 5
Mean [m]		0.001477	-0.001010	0.013724		
Sigma [m]		0.036769	0.025200	0.026979		
RMS Error [m]		0.036799	0.025220	0.030269		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified v.s. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn 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	0.00
-3.00	0.00	46.85	52.45	55.59
0.00	3.00	53.15	47.55	44.41
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]		1.251367	-0.144923	7.387312
Sigma [m]		1.133232	0.467696	0.627007
RMS Error [m]		1.688234	0.489635	7.413874

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.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.251367	-0.144923	7.387312

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

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	6.392
Phi	7.352
Kappa	137.610

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) i7-3630QM CPU @ 2.40GHz RAM 8GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4000 (Driver: 10.18.10.3316), NVIDIA GeForce GTX660M (Driver: 9.18.13.2702)
Operating System	Windows 8.1, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	ETRS89 / GK23FIN (egm96)
Output Coordinate System	ETRS89 / GK23FIN (egm96)

Processing Options

Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
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 Bundle Adjustment: Classic

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Time for Point Cloud Densification	01h:39m:21s
Time for 3D Textured Mesh Generation	03h:09m:54s

Results



Number of Processed Clusters	4
Number of Generated Tiles	2
Number of 3D Densified Points	36882498
Average Density (per m ³)	247.89

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.86 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	44m:57s
Time for Orthomosaic Generation	01h:20m:42s