

**PUUSTON PITUUDEN JA TOIMENPIDETARPEIDEN KARTOITUS
RPAS-JÄRJESTELMÄLLÄ**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, Metsätalous

Syksy 2017

Joonas Anttiroiko & Juhani Luumi

Metsätalous
EVO

Tekijä	Joonas Anttiroiko & Juhani Luumi	Vuosi 2017
Työn nimi	Puuston pituuden ja toimenpidetarpeiden kartoitus RPAS-järjestelmällä	
Työn ohjaajat	Esa Lientola & Risto Viitala	

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää miehittämättömän ilma-aluksen käyttömahdollisuuksia metsätaloudessa. Tarkoituksena oli saada selkeä kuva edullisen järjestelmän mahdollisuuksista puuston pituuden ja toimenpidetarpeen selvittämisessä. Idea työhön saatiin keväällä 2017 suoritetusta ”RPAS-biotalous” -opintomodulistista. Työ aloitettiin etsimällä sopivia koealoja Evon opetusmetsän alueelta, joissa eri kehitysluokat ovat hyvin edustettuina. Valinnassa päädyttiin käyttämään Helsingin yliopiston koealoja niistä tehtyjen tarkkojen mittausten vuoksi.

Aineisto työtä varten kerättiin kesän 2017 aikana. Kun lehdet ovat puissa, saa latvuspeittävydestä parhaan kuvan. Lennot toteutettiin Evon kampuksen omalla DJI Phantom 4 -nelikopterilla. Aineisto käsiteltiin Agisoft Photoscan -ohjelmalla ja saatujen pintamallien työstäminen tehtiin Arcmap 10.4 -ohjelmalla. Puuston pituus selvitettiin pituusmallien ja toimenpidetarve latvuston sulkeutuneisuuden perusteella.

Tutkimuksen tuloksina saatiin kuva edullisen RPAS-järjestelmän käyttömahdollisuuksista puuston pituuden ja toimenpidetarpeen selvittämisessä. Järjestelmällä ja nykyisillä työkaluilla saadaan kyllä tarkkoja puustotietoja, mutta menetelmä on raskas, kankea ja hidas verrattuna manuaaliseen maastotyöskentelyyn. Vielä tässä vaiheessa edullinen RPAS-järjestelmä ei tuo merkittävää lisäarvoa laserkeilausaineiston rinnalla, mutta tilanne voi pian muuttua. Se on kuitenkin oiva työkalu visuaaliseen tarkasteluun.

Avainsanat RPAS, metsätalous, miehittämätön ilmailu, puuston pituusmalli, latvuspeittävyys

Sivut 68 sivua, joista liitteitä 7 sivua

Forestry
EVO

Author	Joonas Anttiroiko & Juhani Luumi	Year 2017
Subject	Determination of forest height and operation requirements with an RPAS-system	
Supervisors	Esa Lientola & Risto Viitala	

ABSTRACT

This bachelor's thesis examined how an RPAS system could be used to determine canopy height and operation requirements in forests. The goal was to get a clear picture how an affordable RPAS system would manage with these tasks. The idea for this thesis came during RPAS in bioeconomy module in the spring of 2017. The first step was to find suitable test areas with forests in different stages of the development cycle. Test plots of Helsinki University were selected for this thesis as they have very accurate manual measurements to compare to.

The material for this study was collected during the summer of 2017. This was to ensure the most reliable data since leaves on trees make a great difference in aerial photos. Flights were executed with the DJI Phantom 4 quadcopter. The material was processed with Agisoft Photoscan and height models were processed with Arcmap 10.4. The height was determined from canopy height models and the operation requirement was determined from the density in forest canopy.

The result of the study was that with an affordable RPAS system and present tools, it is possible to get accurate data about canopy height and canopy cover. The method however, is heavy and slow compared to manual measurements made in the field. At this moment an RPAS system does not bring significant advantage alongside laser scanning data, but the situation can change soon due to the rapidly improving technology. RPAS is still an excellent tool for visual examination.

Keywords RPAS, forestry, unmanned aviation, height model, canopy cover

Pages 68 pages including appendices 7 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUKSEN TEORIA	2
2.1	Aiemmat tutkimukset.....	2
2.2	Kaukokartoitus	2
2.2.1	Ilmakuvaus.....	3
2.2.2	Ilmakuvauksen suoritus.....	4
2.2.3	Ilmakuvien geometria.....	5
2.2.4	Laserkeilaus	6
2.2.5	Laserkeilaus metsien inventoinnissa	7
2.2.6	Laserkeilaus metsätaloudessa	8
2.3	Fotogrammetria	9
2.4	Miehittämätön ilmailu	11
2.4.1	RPAS-järjestelmän määritelmä.....	12
2.4.2	Lainsäädäntö.....	13
2.4.3	Muut miehittämätöntä ilmailua rajoittavat alueet.....	14
2.4.4	Jokamiehen oikeudet, kotirauha ja yksityisyyden suoja	15
2.4.5	Euroopan unionin yhteinen lainsäädäntö	17
3	TUTKIMUKSEN LENTOTYÖ	20
3.1	Tutkimuskoealat.....	20
3.2	Kuvauslennot.....	20
3.2.1	Kalusto	21
3.2.2	Lentojen suunnittelu	23
3.2.3	Lennot.....	23
4	AINEISTON KÄSITTELY.....	26
4.1	Ilmakuvien käsittely Agisoft Photoscan -ohjelmistolla	28
4.1.1	Kuvien linjaan asettelu	28
4.1.2	Tihennetty pistepilvi ja teksturoitu 3D-malli.....	31
4.2	Puuston korkeusmallin luominen	34
4.2.1	Ongelmatilanteet.....	35
4.2.2	Puuston korkeusmallin luominen Arcmap-ohjelmassa.....	37
4.3	Puuston pituuksien vertailu.	40
4.4	Puuston latvuspeittävyyden määrittäminen.....	47
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYSOINTI	50
5.1	Puuston pituuden tulokset.....	50
5.2	Puuston latvuspeittävyyden tulokset.....	55
6	POHDINTA.....	58
6.1	Laitteiston ja ohjelmistojen toimivuus.....	58
6.2	Koealat.....	58
6.3	Tulevaisuuden näkymät metsätaloudessa.....	59

6.4 Jatkoehdotuksia	61
LÄHTEET	62

Liitteet

Liite 1	RISKIANALYYSI
Liite 2	LENTOPÄIVÄKIRJA
Liite 3	KOEALAKARTTA

Keskeistä sanastoa opinnäytetyössä

ALS	Airborne Laser Scanning – Lentolaserkeilaus/ilmalaserkeilaus
AIP	Aeronautical Information Publication, eli ilmailukäsikirja
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight – Suoran näköyhteyden ulkopuolella/näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta
CHM	Canopy Height Model – Puuston korkeusmalli
DEM	Digital Elevation Model – Maaston korkeutta osoittava malli
Drone	Kansankielinen ilmaisu kaikille maalla, merellä ja ilmassa liikkuville miehittämättömille laitteille.
DSM	Digital Surface Model – Maaston pintamalli
DTM	Digital Terrain Model – Maaston maanpintamalli
GIS	Geographical Information System – Paikkatietojärjestelmä
GPS	Global Positioning System – Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä globaali satelliittipaikannusjärjestelmä.
LiDAR	Light Detection and Ranging, Kaukokartoitukseen käytettävä laserkeilausjärjestelmä
Lennot	Miehittämätön ilmassa liikkuva laite, jota käytetään urheilu- ja harrastekäyttöön.
RPA	Remotely Piloted Aircraft – Kauko-ohjattu ilma-alus, jota käytetään lento-työhön.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System – Kauko-ohjatun ilma-aluksen kokonaisjärjestelmä, johon sisältyy laitteen lisäksi kauko-ohjauspaikat, tarvittavat seurantayhteydet ja muut käytön edellyttämät osat.
UA	Unmanned Aircraft – Miehittämätön ilma-alus
UAS	Unmanned Aircraft System – Miehittämättömän ilma-aluksen kokonaisjärjestelmä
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – Miehittämätön ilma-alus (Vanhentunut termi, nykyinen vastike tälle on UA)
VLOS	Visual Line of Sight – Suora näköyhteys/näköyhteyteen perustuva toiminta.

1 JOHDANTO

Kauko-ohjattavat ilma-alukset, toisin sanoen RPA-laitteet ovat viime vuosina yleistyneet merkittävästi myös siviiliväestön keskuudessa niin harraste- kuin ammattikäytössä. Komponenttien halventuminen, laitteiden saatavuus ja kehitys on tuonut jo useita laitteita kuluttajan saataville. Käyttökohteita löytyy eri elämän aloilta aina ilmakuvauksesta mm. logistisiin ja pelastustehtäviin. Viimevuosina laitteet ovat nousseet merkittävään asemaan myös biotaloudessa ja laitteiden merkitys tulee varmasti kasvaamaan lähivuosina.

Kiinnostus aiheeseen lähti kevään 2017 RPAS biotaloudessa -opintomoduulin pohjalta. Moduulin lopussa laitetta päästiin kokeilemaan omiin sovelluskohteisiin, joiden pohjalta kiinnostus tehdä aiheesta opinnäytetyö heräsi.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää halvahkon harrastelukäyttöön suunnatun RPAS-järjestelmän soveltuvuutta metsän mittaamiseen metsätalouden näkökulmasta. Tutkimuksessa testataan, pystyykö kauko-ohjattavalla ilma-aluksella mittaamaan puuston pituutta ja latvuspeittävyttä erilaisilla metsäkuvioilla, sekä selvitetään pituuden avulla laajempaa metsätalouskäyttöä ajatellen sopiva lentokorkeus. Latvuspeittävyttä käytetään jo ammattikäytössä nopeana indikaattorina mahdollisille harvennustarpeille. Maastotyöskentely on lähtökohtaisesti hidasta ja kallista ja ilmakuvauksella on huomattavasti nopeampaa jalkatyöhön verrattuna. Tutkimus on kvantitatiivinen tapaustutkimus, jossa kohteena on vain yksi kaupallinen RPAS-järjestelmä, jonka tulokset eivät ole automaattisesti vertailukelpoisia muihin laitekokonaisuuksiin. Tutkimus suoritettiin Evon opeusmetsän alueella.

Opinnäytetyön alkuperäisenä ideana oli tuottaa laajempaa vertailua eri kehitysluokilta tarkempien numeeristen vastauksien saamiseksi. Työn aikana ja koealojen painottumisen vuoksi työstä muodostui enemmän kokeilu- ja muotoinen tutkimus muutamille erikseen valituille koealoille. Käytettävissä olleet HY:n koealat painottuvat lähes poikkeuksetta uudistuskypsyihin metsiin, eikä hyviä vastinpareja ole riittävästi eri kehitysluokilta puuston latvuspeittävyden tutkimiseen. Lisäksi lennettyjen kuvausaineistojen prosessointi ja tulkinta on varsin hidasta, joten työssä keskityttiin muutamaa hyvin valitun koealan tulkintaan.

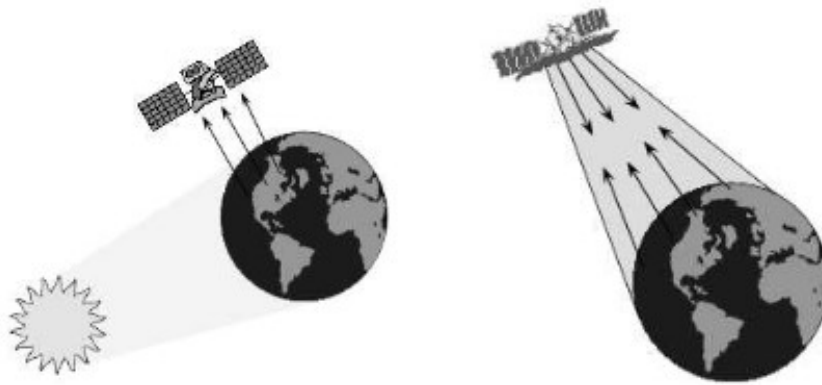
2 TUTKIMUKSEN TEORIA

2.1 Aiemmat tutkimukset

Samanlaista opinnäytetyötä aiheesta ei ole aiemmin tehty, mutta metsän ilmakuvauksesta miehittämättömillä ilma-aluksilla ja muita saman aihepiirin töitä on tehty Suomessa useita. Lisäksi maailmalla on tehty tutkimuksia esimerkiksi pinta- ja latvusmallien luomisesta RPAS-aineistoista sekä puun pituuden mittaamisesta ilmakuvien perusteella. Tutkimuksen aiheeseen löytyy esimerkiksi tutkimus puuston latvuksen ja biomassan selvittämisestä edullisella UA-laitteella: "Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system" (Wang Li ym. 2016). Myös puun pituuden mittaamisesta miehittämättömällä laitteella ja 3D-mallinnuksella on tehty tutkimus: "Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods" (Zarco-Tejada ym. 2014). Myös Hämeen ammattikorkeakoulussa on tehty AMK-opinnäytetöinä: "Laserkeilauksella ja UAV-ilmakuvauksella tuotetun puustotiedon vertailu" (Nieminen 2012.) sekä "Metsän UAV-ilmakuvauksen – Toteutus ja pintamallien laatiminen" (Kallioinen & Laaksonen 2016.) Vastaavasti aihepiiristä on juuri tehty ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, jonka yksi osa-alue tämä tutkimus on: "Kauko-ohjatut ilma-alukset luonnonvara-alalla: Tutkimus käyttömahdollisuuksista, tekniikan tarjoamista vaihtoehtoisista ja käyttöön liittyvistä osaamistarpeista." (Lientola 2017.) Kallioisen ja Laaksonen opinnäytetyö käsittelee täysin samaa aihepiiriä tämän työn kanssa ja tämä tutkimus toimii samalla jatkotutkimuksena työlle.

2.2 Kaukokartoitus

Kaukokartoitus (eng. remote sensing) tarkoittaa tietojen keräämistä sähkömagneettisen säteilyn avulla ilman fyysistä kosketusta itse tutkittaviin kohteisiin. Kaukokartoitusjärjestelmän toiminnot koostuvat aina tiedon hankinnasta tietojen käsittelyyn ja tulosten esittämiseen. Kaukokartoitus kategorisoidaan säteilylähteestä riippuen aktiivisiin ja passiivisiin kaukokartoitusmenetelmiin (kuva 1, s. 3). Passiivisessa kaukokartoituksessa käytetään ilmaisimia, jotka keräävät kohteiden emittoimaa eli lähettämää tai auringon valon heijastamaa säteilyä. Passiivisia instrumentteja ovat esimerkiksi erilaiset kamerat, keilaimet ja muut näkyvää valoa tai infrapuna-aallon havainnoivat laitteet (Ympäristöministeriö 2004, 4). Aktiivisissa kaukokartoitusjärjestelmissä käytetään esimerkiksi tutkaa tai muuta erillistä säteilylähdettä, jotka lähettävät havainnoitavaan kohteeseen sähkömagneettista säteilyä ja myös mittaavat kohteesta takaisin heijastunutta tai sironnutta säteilyä. Kaukokartoituksen tukena käytetään usein myös maastossa mitattua tai muuta referenssitietoa tuloksin avuksi sekä tulosten paikantamisen vahvistamiseksi. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011, 129.)



Kuva 1. Vasemmalla passiivisen ja oikealla aktiivisen kaukokartoituksen muoto (Natural Resources Canada 2015).

Kaukokartoituksen edut perinteiseen maastossa suoritettavaan inventointiin ovat moninaisia. Kaukokartoituksella voidaan saada edullisesti tietoa laajoilta alueilta samanaikaisesti ja myös niiltä aallonpituuksilta, joita ihmissilmä ei näe. Alueella mahdollisesti tapahtuneita muutoksia voidaan tarkastella vertailemalla eri ajankohtina otettuja kuvia. Kaukokartoitusaineistoilla tehdyt analyysit ovat objektiivista, arvioijasta riippumatonta tietoa. Kaukokartoituksen suurimmat hyödyt saadaan laajoilla alueilla sekä vaikeasti saavutettavissa kohteissa. Menetelmän käyttöä rajoittavat esimerkiksi sääolosuhteet sekä aineiston tarkkuus ja geometrinen erotuskyky. (Kangas ym. 2011, 129.)

Itse prosessiin lasketaan mukaan muutkin työvaiheet kuin itse kohteen havainnointi, kuten tiedon siirto, arkistointi, tietojen prosessointi ja analysointi. Kuvien prosessointi vaatii usein paljon laskentaa ja tekniikan kehityksessä toimenpide tulee aina aiempaa helpommaksi ja nopeammaksi. (Ympäristöministeriö 2004, 2–3.)

2.2.1 Ilmakuvaus

Ilmakuvaus on passiivisen kaukokartoituksen menetelmä, jossa tarvitaan ulkoista valonlähdettä eli käytännössä auringon valoa, jonka heijastamaa säteilyä kuvauskohteesta tulkitaan. Ilmakuvausta voidaan suorittaa ilmasta käsin mitä erilaisemmilla laitteilla aina satelliiteista pienimuotoisiin miehittämättömiin ilma-aluksiin.

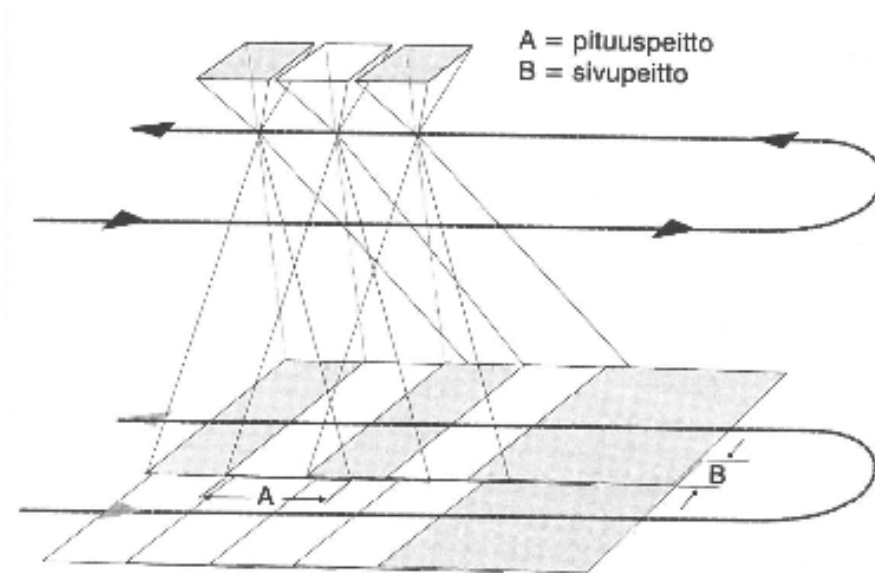
Ilmakuvauksen historia alkaa 1800-luvun puolivälistä, jolloin ensimmäisiä ilmakuvia otettiin kuumailmapallostä käsin. Ilmakuvauksen käyttö metsätalouden suunnitteluun ulottuu ajassa jo ennen toista maailmansotaa edeltäneille ajoille Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Suomessa ilmakuvaus aloitettiin 1920-luvulla ja metsätaloudessa vasta 1950-luvulla.

70-luvulta eteenpäin ilmakuvat ovat olleet perustyökaluna kuvioittaisessa metsätaloudessa. (Auvinen, Pukkala & Vesa 1997, 79.)

2.2.2 Ilmakuvauksen suoritus

Ilmakuvaukset on perinteisesti tehty lentokoneesta lentokorkeuden vaihdella 1 000–9 000 metrin väliltä. Alhaisemmilla lentokorkeuksilla ja pienimuotoisemmissa tulkintakuvauksissa ilmakestä voidaan tehdä myös pienkoneella ja muilla ilmassa liikkuvilla laitteilla, kuten helikopterilla tai miehittämättömällä ilma-aluksella. Kaukokartoituskuvaukseen käytettävän lentokoneen tulee kyetä lentämään hitaasti vakaiden kuvien saamiseksi ja kantamaan kuvaukseen tarvittavan painavan mittakameran oheislaitteineen. Varustukseen kuuluu myös GPS-laitteisto kuvien paikantamiseksi. (Auvinen ym. 1997, 79.)

Metsätaloudessa ilmakestä suoritetaan pystykuvaus, jossa kuvakallistus on korkeintaan 5 astetta. Pystykuvassa kohtisuoraan linssin alapuolella näkyvää pistettä kutsutaan nadiiripisteeksi. Täydellisessä pystykuvassa nadiiripiste on keskellä kuvaa, jolloin kuvan kallistuskulma on nolla. Ilmakestauksessa lentokone tai muu ilma-alus lentää ennalta suunniteltua linjaa pitkin ja ottaa kohtisuoria kuvia alaspäin, jotka peittävät toisiaan. Mikäli kuvattava alue ei mahdu yhden lentolinjan alle, lennetään alueella vierekkäin useampi lentolinja, jotka myös peittävät toisiaan. Nämä niin kutsutut linjojen pituus- ja leveyspeitot mahdollistavat kuvien stereotarkastelun. Kun jokaisesta maaston kuvasta on enemmän kuin yksi kuva saadaan paljon tarkempi tieto halutulta alueelta. Pituuspeitto on peräkkäisten kuvien yhteisen osan osuus lentolinjassa ja leveyspeitto vierekkäisten kuvajonojen yhteisen alueen osuus kuvajonon alueesta lentolinjaan nähden (kuva 2, s. 5). Stereokuvaus mahdollistaa myöhemmin kolmiulotteisen mallin luonnin kuvatusta alueesta. (Auvinen ym. 1997, 79–81.)



Kuva 2. Stereokuvauksen periaate (Auvinen ym. 1997, 79).

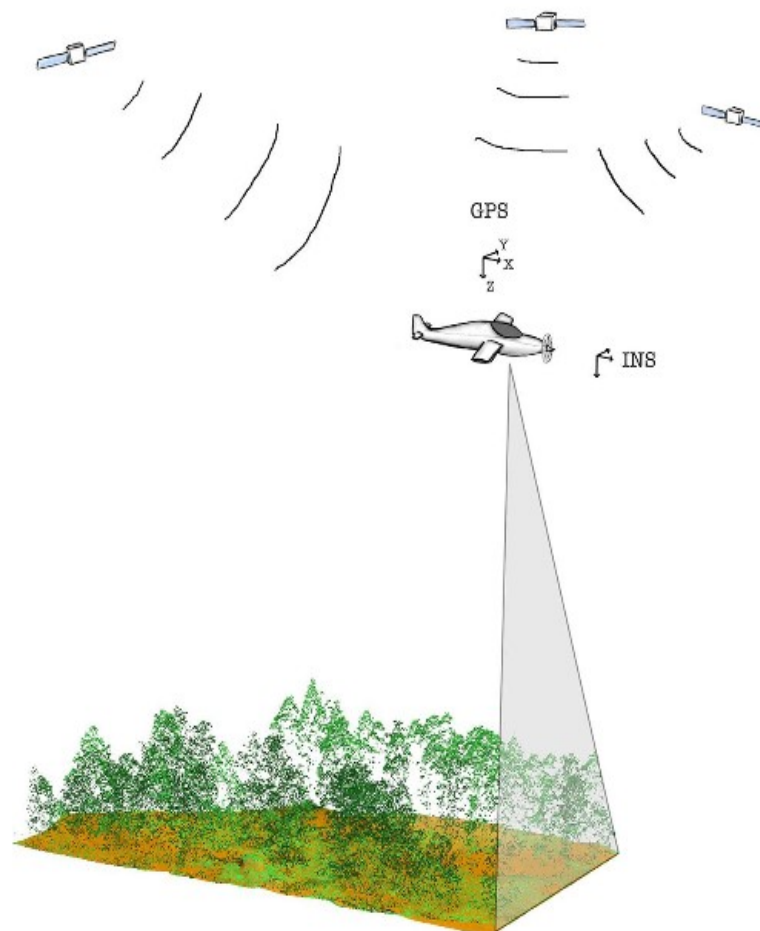
2.2.3 Ilmakuvien geometria

Ilmakuva on keskusprojektio, minkä vuoksi kuva ei aina kerro kohteiden todellista sijaintia, vaan ainoastaan jos maasto on aivan tasainen ja kuva on onnistuttu saamaan nadiirikuvana. Myös optiikka ja ilmakehä aiheuttavat kuvautumisvirheitä, sekä mittakaavavirheiden, säteissiirtymien ja kuvan kallistuneisuuden vaikutus pystykuviin. Metsistä otetuissa kuvissa kuvien laidoilla olevat puut nähdään usein hieman sivusuunnasta. Tässä ilmiössä puiden latvojen nähdään siirtyneen nadiiripisteestä poispäin, tätä kallistumaa kutsutaan säteissiirtymäksi. Myös maasto vaikuttaa säteissiirtymään, maaston keskikorkeutta matalammat kohdat siirtyvät nadiiriin päin ja korkeammat nadiirista poispäin. (Auvinen ym. 1997, 84–88.)

Maaston topografia vaikuttaa ilmakuvien tarkkuuteen. Maaston aiheuttama vaikutusta voidaan korjata kolmivaiheisella orto-oikaisulla, jolla keskusprojektiivinen kuva muunnetaan karttaprojektioon. Sisäinen orientointi eli kuvakoordinaatisto ja pääpisteen sijainti määritellään kameran parametrien avulla. Prosessiin tarvitaan kameravakio, pääpisteen sijainti kuvakeskukseen nähden ja kuvakoordinaatit. Ulkoisella orientoinnilla määritetään kuvakoordinaatistosta karttakoordinaatistoon käyttämällä tukipisteitä. Ulkoisen orientoinnin tavoitteena on selvittää sensorin sijainti karttakoordinaatistossa, lentokorkeus sekä mahdolliset kallistumat virheestimaatteineen. Maaston korkeusmallilla (DSM) korjataan maaston korkeuserojen aiheuttamat virheet kohteiden sijainnissa. (Tokola, Hyyppänen, Miina, Vesa & Anttila 1998, 71–73.)

2.2.4 Laserkeilaus

Lentolaserkeilaus (ALS, Airborne laser scanning) on aktiivinen kaukokartoitusmenetelmä, jota hyödynnetään pinnanmuotojen, metsien, kaupunkialueiden ym. mallintamisessa. Terminä lentolaserkeilausta käytetään usein LiDAR-käsitteen rinnalla (Light Detection and Ranging), sillä menetelmässä lasersäteellä valaistaan maanpinta ja fotodiodilla rekisteröidään takaisinsirontasäteily. Laserkeilaus on mittaustapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteen avulla tuotettua tarkkaa kolmiulotteista tietoa ilman fyysistä kosketusta kohteeseen (kuva 3). (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013.)



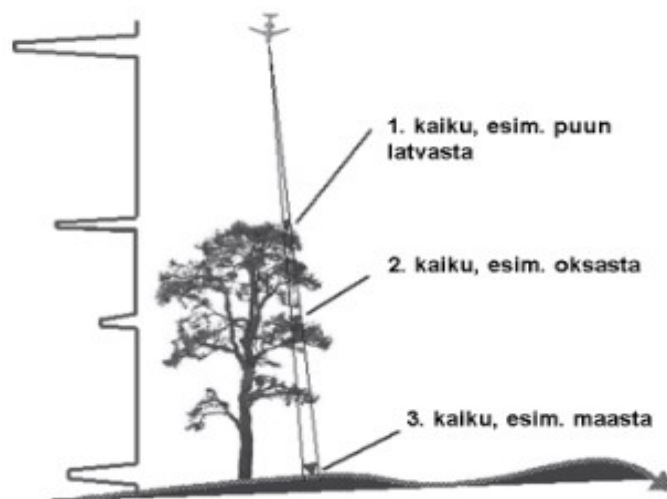
Kuva 3. Lentolaserkeilauksen periaate (Holopainen ym. 2013).

Laserkeilauksessa mittakeilain lähettää automaattisesti lasersäteitä tiheänä rasterina. Säteen kimmoessa esteestä keilain mittaa etäisyyden ja kaiun intensiteetin ja laskee kimmokepisteen koordinaatit. Katvealueiden välttämiseksi esimerkiksi metsätaloudessa kohde keilataan usein useammasta suunnasta ja yhdistetään myöhemmin yhdeksi tiedostoksi. Tuloksena saadaan pistepilvi, kolmiulotteinen tietokonemalli, jossa pisteet

edustavat kohteesta kimmonneita kaikupiikkejä, eli toisin sanoen laser-säde on pisteen kohdalla osunut johonkin esteeseen. Pistepilven avulla kohteesta saadaan hahmotettua kolmiulotteisia pintoja. (Holopainen ym. 2013.)

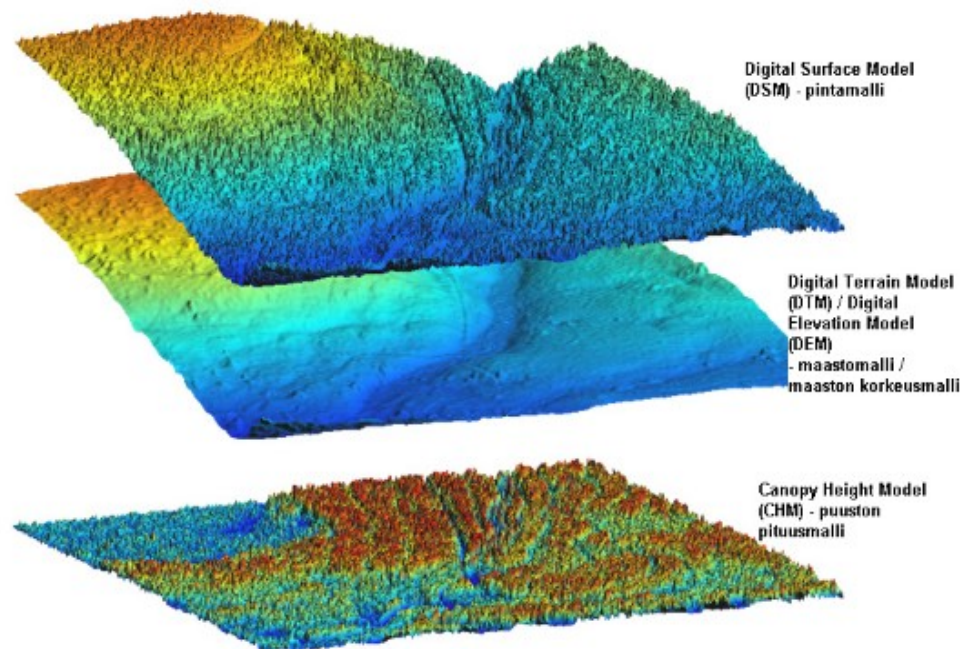
2.2.5 Laserkeilaus metsien inventoinnissa

Lentolaserkeilaus tehdään yleensä lentokoneesta tai helikopterista vähintään 400 metrin korkeudesta laajojen alueiden kattamiseksi. Lentolaserkeilaus muodostaa kohdealueesta kolmiulotteisen pisteaineiston, jossa jokaisella pisteellä on sekä x- ja y-koordinaatit, että korkeus merenpinnasta (z-koordinaatti). Metsätaloudessa lentolinjojen leveys maastossa on yleensä 100–1 000 metriä, joilla saadaan 10–50 % sivuttaispeitto. Laserpulssin osuma puustoon voi tuottaa yhden tai useamman paluukaiun laserin osuessa ensin latvustoon ja lopulta maahan. Tapahtumasarjan avulla pystytään kuvaamaan metsikön rakennetta (kuva 4). (Holopainen ym. 2013.)



Kuva 4. Laserpulssin ja puuston vuorovaikutus, missä kaikusignaali kuvaa vastaanotetun kaiuin voimakkuutta ajan funktiona (Holopainen ym. 2013).

Lentolaserkeilauksella kerätystä pisteaineistosta irrotetaan yleisimmin piirteitä joko yksittäisen puun latvuksen tai aluepohjaisen menetelmässä yksittäisen hilaruudun alueelta. Molempien menetelmien piirteiden irrotus perustuu pistemäisestä korkeustiedosta muodostettuun maanpintamalliin (DTM, Digital Terrain Model), jonka avulla absoluuttiset korkeudet saadaan muunnettua korkeuksiksi maanpinnasta. Yksinpuintulkinnassa hyödynnetään myös puiden pituutta kuvaavaa pintamallia (CHM, Canopy Height Model), joka saadaan kohteiden absoluuttista kuvaavan pintamallin (DSM, Digital Surface Model) ja DTM:n erotuksena (kuva 5, s. 8). (Holopainen ym. 2013.)



Kuva 5. Laserkeilausaineistosta luodut pintamallit (Holopainen ym. 2013).

2.2.6 Laserkeilaus metsätaloudessa

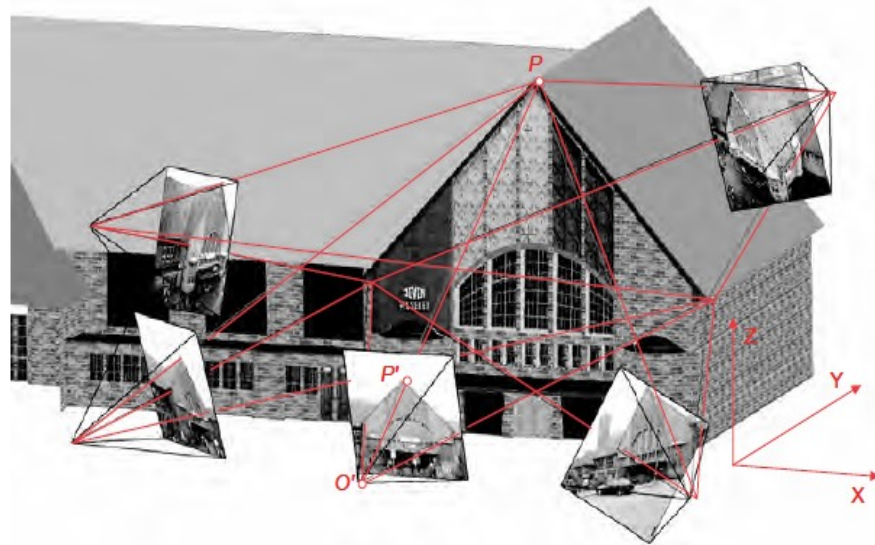
Laserkeilauksen suurin etu on metsässä suoritettavan maastomittauksen väheneminen. Laserkeilauksesta saadulla aineistolla voidaan luoda metsäsuunnitelmia ja etsiä metsäyhtiöiden tarpeisiin sopivia hakkuukohteita ja määrittellä niiden korjuukelpoisuus. Toisena merkittävä etuna on laserkeilauksen kyky havainnoida maanpinnan muotoja metsikön alta esimerkiksi ojitusta varten ilmakuviin verrattuna. (Puuntuottaja 2012.)

Perinteisesti metsäsuunnitelmat on luotu maastomittauksen pohjalta paikan päällä. Laserkeilausta hyödyntämällä kallista maastotyötä voidaan vähentää tai ääritapauksissa vähentää kokonaan.

Tiheäpulsisesta (yli 10 pulssia / m²) laserkeilausaineistoa käyttämällä puiden latvojen muodoista voidaan 90–95 %:n tarkkuudella määrittellä, onko kyseessä mänty, kuusi vai lehtipuu. Käytännössä määrittely ei ole varsinkin helppoa ja yleisemmille pulssitiheyksillä (0,5–2 pulssia / m²) tarkkuus on parhaimmillaan noin 75–85 %. Puuston pituus ja latvuspeitteisyys pystytään määrittelemään laserkeilaamalla varsin tarkasti. Taimikonhoitoa kaipaavat alueet voidaan löytää tietokoneavusteisesti puuston pituuden ja latvuspeittävyyden avulla. Kaikkia maastotunnuksia laserkeilauksella ei pystytä saamaan, kuten esimerkiksi kasvupaikaluokkaa tai kaikkia metsälain 10 §:n kohteita. (Puuntuottaja 2012.)

2.3 Fotogrammetria

Fotogrammetria eli kuvamittaus tarkoittaa käsitteenä tietoa, taitoa ja teknologiaa saada luotettavaa tietoa ympäristöstä ja kiinteistä kohteista tallentamalla, mittaamalla ja tulkitsemalla kuvia ja kuvioita sähkömagneettisesta säteilystä ja muista ilmiöistä. Monissa tilanteissa fotogrammetria on helppo ja kustannustehokas menetelmä luoda tarkkaa kolmiulotteista dataa halutusta kohteesta. Pääedellytys fotogrammetrisen projektion luomiseksi on sarja toisiaan peittäviä stereokuvia, joita voidaan ottaa mitä erilaisin menetelmin; fyysisestä käsikamerasta aina maata kiertäviin satelliitteihin (kuva 6). (Matthews 2008.)

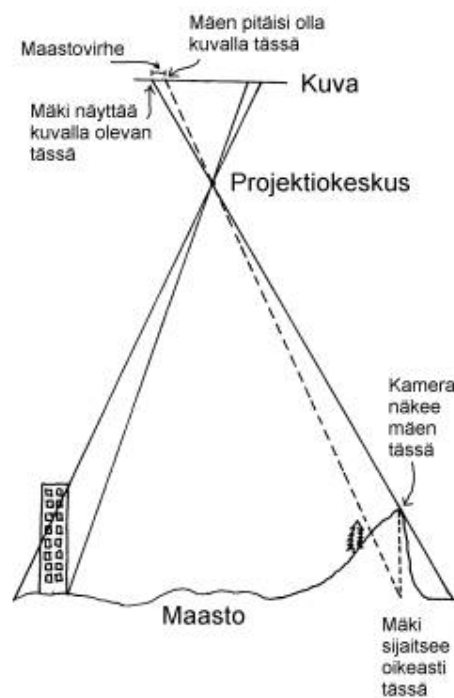


Kuva 6. Fotogrammetrian periaate (Luhmann, Robson & Kyle 2014).

Fotogrammetrian ideana on määrittää kuvan ja kohteen välinen geometrinen suhde kuvanottohetkellä ilman fyysistä kontaktia itse kuvattavaan kohteeseen. Kun tiedon hankkimiseen riittää pelkkä kameran läsnäolo, eivät vaihtelevat olosuhteet tai muuttujat yleensä estä fotogrammetristen mittausten tekemistä. Fotogrammetrian avulla voidaan tutkia melkein mitä tahansa kuvia; halvoista harrastekäyttöön suunnatuista digikamerakuvista aina ammattikäyttöön suunnattujen laitteiden tuottamiin kuviin tai vuosikymmenistä yli sata vuotta vanhoihin mustavalkoisiin valokuviin. (Vinni 2003.)

Fotogrammetrian sijaan puhutaan kaukokartoituksesta, kun mittauksissa käytetään satelliitteja tai muita sähkömagneettista säteilyä hyödyntäviä aktiivisia tai passiivisia havaintolaitteita. Aineistokokojen vuoksi näistä saatuja tietoja tulkitaan useimmiten automaation avulla eikä ihmisvoimin. (Vinni 2003.)

Fotogrammetria perustuu valokuvien tulkintaan. Kun kaikki kuvan valonsäteet kulkevat kameras projektiokeskuksen kautta seuraa, että mitä kauemmas kuvan keskipisteestä mennään, sitä viistommin kamera näkee kohteet. Tämän vuoksi korkealla kuvassa näkyvät kohteet, kuten puut rakennukset jne. näyttävät kallistuvan kuvan ulkoreunaa kohti. Kallistuminen on sitä voimakkaampaa, mitä korkeampi kohde on. Tästä seuraa kohteen vääristyminen kuvalla, mikä pätee myös korkeisiin maastokohteisiin, mitä kutsutaan maastovirheeksi (kuva 7). (Vinni 2003.)



Kuva 7. Keskusprojektio ja maastovirheen vaikutus (Vinni 2003).

Fotogrammetria jaetaan epävirallisesti kahteen eri peruskategoriaan kameras etäisyydestä riippuen: perinteiseen ilmasta tapahtumaan fotogrammetriaan (aerial photogrammetry) ja modernimpaan lähietäisyyden fotogrammetriaan (close-range photogrammetry). Teknologian kehitys kaupallisissa sovelluksissa ja kameroissa, sekä miehittämättömien ilmalusten tulo ovat tehneet edellä mainittujen menetelmien rajan häilyväksi päällekkäisyyksien myötä. (Matthews 2008.)

Ilmafotogrammetria hyödyntää suurikokoisia kuvia ja maan koordinaatteja tarkkojen maakaistaleiden uudelleenluomiseen virtuaalisessa ympäristössä. Ilmakuvauksissa kamera usein kiinnitetään lentokoneeseen tai muuhun ilmassa liikkuvaan laitteeseen osoittamaan kohtisuoraan maata kohti. Kamera ottaa reitin varrella useita, toisiaan hieman sivuavia kuvia, joiden tulisi kattaa vähintään 60 % toistensa kuvatiedoista hyvän lopputuloksen saamiseksi. (Matthews 2008.)

Lähifotogrammetriassa voidaan hyödyntää samoja stereokuvauksen peruseriaatteita kuin perinteisessä ilmafotogrammetriassakin. Lähifotogrammetriaksi luetaan kuvat, joissa kohteen välinen etäisyys kameraan on alle 300 metriä. Tämän etäisyyden sisään lukeutuvat esimerkiksi kaikki normaalit kauko-ohjattujen ilma-alusten lennoista saadut kuvat, joissa lento- korkeus rajoittuu ilman erillisjärjestelyjä 150 metriin tai alle. Käsikäyttöistä kameraa ja matalalla lentäviä lennokkeja käytettäessä toimintaperiaatteet ovat usein samat, joten näistä käytetään yhteistä käsitettä lähifotogrammetria. (Matthews 2008.)

Lähifotogrammetriassa voidaan hyödyntää monenlaisia kamerakalustoja aina halvoista kännykkäkameroista miehittämättömiin ilma-aluksiin. Lähifotogrammetriassa voidaan monipuolisen kaluston ansiosta päästä hyvinkin pikkutarkkoihin tuloksiin. (Matthews 2008.)

2.4 Miehittämätön ilmailu

Miehittämättömillä ilma-aluksilla eli UA-laitteilla (Unmanned Aircraft) tarkoitetaan ilmassa lentäviä kauko-ohjattavia laitteita. Malliltaan laitteet jaetaan kiinteäsiipisiin eli lennokkeihin ja pyöriväsiipisiin helikoptereihin. Lennokkien etuna on nopeus ja pitkä lentoaika. Ne tosin vaativat paljon enemmän tilaa nousuun ja varsinkin laskeutumiseen kuin nykyaikaiset helikopterit ja ovat haastavampia käyttää (kuva 8, s. 12). Miehittämättömät ilma-alukset sopivat hyvin ilmakuvaukseen ja kartoitukseen. Laitteella lennetään alueen päällä useita vierekkäisiä linjoja siten, että kuvat peittävät toisiaan. Kuvien perusteella ohjelmissa voidaan laskea kohteesta kolmiulotteinen malli, josta edelleen voidaan laskea esimerkiksi pinta-aloja ja tilavuuksia. Tuloksia saadaan nopeammin ja halvemmalla kuin perinteisillä mittausmenetelmillä. (Hassinen 2013, 3–34.)



Kuva 8. Erilaisia miehittämättömiä ilma-aluksia. Kuvassa ylempänä pyöriväsiipinen DJI Phantom 4 -nelikopteri (DJI n.d.). Kuvassa alempana kiinteäsiipinen MAVinci Sirius Pro (MAVinci n.d.).

2.4.1 RPAS-järjestelmän määritelmä

RPAS-termillä (Remotely Piloted Aircraft System) viitataan kauko-ohjatun ilma-aluksen kokonaisjärjestelmään, johon kuuluu lennätettävän laitteen lisäksi kauko-ohjauspaikat, tarvittavat ohjaus- ja seurantayhteydet ja kaikki muut erikseen määrätyt käytön edellyttämät järjestelmän osat. Käyttötarkoitusten vaihdellessa RPAS-järjestelmiin liitetään usein lentotyöhön käytettäviä lisälaitteita, esimerkiksi kameroita ja laserkeilaimia. (Trafic n.d.a.)

Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin erottaa toisistaan lähinnä vain käyttötarkoitus. Ilma-alukseksi kutsutaan sellaista RPAS-järjestelmää, jolla tehdään lentotyötä, kun taas lennokit ovat ensisijaisesti harrastekäyttöön tarkoitettuja ilmassa liikkuvia laitteita. Käytännössä yksi RPAS-järjestelmä voi siis olla samanaikaisesti sekä kauko-ohjattava ilma-alus, että lennokki. Samankaltaisuudesta huolimatta kauko-ohjatuille ilma-aluksille ja len-

nokeille on omat säädöksensä Trafin julkaisemassa OPS M1-32 -määräyksessä, mikä koskettaa kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättämistä. (Trafi n.d.b.)

2.4.2 Lainsäädäntö

Suomessa miehittämätöntä ilmailua ohjaa vain kansallinen sääntely. Euroopan Unionissa on tekeillä yhteinen sääntöpohja direktiivitasolla, joka on tulossa voimaan myöhemmin. Tullessaan voimaan se on kansallisen sääntelyn yläpuolella ja toimii ohjenuorana muuttuvalle kansalliselle lainsäädännölle.

Suomessa miehittämätöntä ilmailua ohjaa lainsäädännöllisesti OPS M1-32 -määräys sekä yleinen ilmailulaki. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi julkaisi loppuvuodesta 2016 ajantasaistetun OPS M1-32 -määräyksen kauko-ohjattujen ilma-alusten ja lennokkien lennättämisestä. Määräys on voimassa toistaiseksi 1.1.2017 alkaen.

Trafin määräyksessä lennokit ja kauko-ohjatut ilma-alukset eroavat toisistaan niiden käyttötarkoituksen perusteella. Kauko-ohjatut ilma-alukset ovat lähtökohtaisesti varustettu lentotyötä, kuten esimerkiksi mittaamista tai valokuvaamista varten. Lennokit puolestaan ovat harrastus- tai urheilutarkoituksessa käytettäviä, ilman ohjaajaa ilmassa liikkuvia laitteita. (Trafi n.d.b.)

Suomessa kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ei vaadita erillistä lentotyölupaa, eikä lennättämiseen sovelleta muita säädöksiä tai määräyksiä. Lennätyksestä vastaavan henkilön on vain oltava vähintään 18-vuotias ja omattava riittävät tiedot ja taidot turvalliseen lennättämiseen ja toimiin mahdollisissa hätätilanteissa. RPAS-toimijan on ilmoitettava toiminnastaan Liikenteen turvallisuusvirasto Trafille ennen toiminnan aloittamista. Velvollisuus ei koske lennokkiharrastajia. Ilmoituksesta on käytävä ilmi laitteen sekä käyttäjän tiedot, toiminnan luonne ja tieto mahdollisista aikeista lennättää laitetta kokoontuneen väkijoukon tai tiheästi asutetun alueen yllä. (Trafi 2016a.)

Lentotyöstä ei saa syntyä vaaraa ulkopuolisille tai heidän omaisuudelleen ja meluhaitat on minimoitava. Lentotyö ei saa myöskään vaikeuttaa tai estää pelastus- tai muuhun poikkeustilanteeseen saapuvan viranomaisen toimintaa. Mahdollisia vaaratilanteita varten on löydettävä riittävät varotoimenpiteet, jos tarvittavat yhteydet laitteeseen katkeavat tai ilma-alus vikaantuu kesken lennon. Ilma-aluksesta on löydettävä käyttäjän nimi ja yhteystiedot, sekä kustakin lennosta on tallennettava seuraavat tiedot, joita tulee säilyttää kolmen vuoden ajan:

- lennätyksen päivämäärä
- lennätyspaikka
- ilma-aluksen päällikkö

- ilma-aluksen valmistaja ja malli
- lennätyksen tai lennätysarjan aloitus- ja päättymisaika
- oliko kyseessä suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS)
- lennätystehtävän luonne sekä maininta mahdollisesta kauko-ohjaustahystäjän käytöstä. (Trafí 2016a.)

Suurin sallittu lentoonlähtömassa rajoittamattomassa ilmatilassa on 25 kg ilman erillistä Trafín myöntämää poikkeuslupaa. Lentotyön tulee olla näköyhteyteen perustuvaa toimintaa (VLOS). Kauko-ohjatulla ilma-aluksella on velvollisuus väistää muita ilmassa liikkuvia laitteita, paitsi lennokkeja. Täten laite on oltava aina ohjattavissa ja lennätys on tapahduttava riittävän lähellä ohjaajaa tai tähystäjää, jotta voidaan arvioida mahdollinen väistämistarve suoraan näköyhteyden perusteella olosuhteet huomioiden. Tähystäjää käytettäessä ohjaajan ja tähystäjän on pystyttävä kommunikoimaan kaikissa tilanteissa keskenään joko puhe- tai etäyhteydellä. Suurin sallittu lentokorkeus on 150 metriä maan tai veden pinnasta, mutta kiinteitä yksittäisiä kohteita, esimerkiksi radiomastoja voi tarkastella kohteen omistajan toimeksiannosta tätä korkeammaltakin pysyttäessä kohteen välittömässä läheisyydessä. (Trafí 2016a.)

Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämistä rajoittavat myös lentoasemien yleiset rajoitusalueet. Lentoasemien lähialueella (CTR, Control Zone), lentopaikan tiedotusvyöhykkeellä (FIZ, Flight Information Zone) ja radiovyöhykkeellä (RMZ, Radio Mandatory Zone) lennätys on sallittua enintään 50 metrin korkeudessa maan tai veden pinnasta, kun vaakasuora etäisyys kiitotiehen on vähintään viisi (5) kilometriä. Jos on tarve lennättää tätä lähempänä kiitotietä tai yli 50 metrin korkeudessa edellä mainituilla rajoitusalueilla, on lennättämisestä sovittava aina erikseen paikallisen lennonjohdon kanssa. Poikkeuksina Jyväskylän (EFJY), Utin (EFUT) ja Helsinki-Vantaan (EFHK CTR SOUTH) lentoasemien rajoitusalueilla lennättämisestä on aina sovittava erikseen edellä mainittujen lentokenttien aktiivisen käytön vuoksi. (Trafí 2016a.)

Kokoontuneen väkijoukon tai tiheästi asutun asuinalueen yläpuolella lennätettäessä ilma-aluksen lentoonlähtömassa saa olla enintään 7 kg. Lenätyksen tulee olla aina suoraan näköyhteyteen perustuvaa ja lentokorkeus on määriteltävä mahdollisten vaaratilanteiden varalle sopivaksi, jotta mahdollisen hätälaskun tapahtuessa vaara muille ihmisille, tai heidän omaisuudelleen olisi mahdollisimman pieni. Ennen tällaista lentoa ilma-aluksen lennättäjän tulee tehdä kirjallinen turvallisuusarviointi ja toimintaohjeistus mahdollisten hätätilanteiden varalle. (Trafí 2016a.)

2.4.3 Muut miehittämätöntä ilmailua rajoittavat alueet

RPAS-toimijan tulee ottaa huomioon myös ilmatilan käyttöä rajoittavat pysyvät tai tilapäiset alueet. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi kieltoalueet (P-

alue), rajoitusalueet (R-alue), vaara-alueet (D-alue) sekä tilapäiset vaara-alueet (Tempo D -alue). Nämä alueet löytyvät suomen ilmailukartalta sekä ilmailukäsikirjasta (AIP). Tilapäisten alueiden aktiivisuus tulee aina erikseen tarkistaa ennen lentoa ilmatiedotuspalvelusta. (Trafli 2016b.)

Pysyviä kieltoalueita voidaan perustaa ilmailulain 11 § mukaisesti valtioneuvoston asetuksella. Ilmailu kieltoalueella on kielletty pl. asetuksen 1 §:n mukaiset poikkeukset. Pysyvät kieltoalueet ovat yhteiskunnan näkökulmasta tärkeitä kohteita kuten ydinvoimaloiden lähialueet. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafli voi erityisistä syistä myöntää luvan näillä alueilla lentämiseen. Pysyvät kieltoalueet on julkaistu Suomen ilmailukäsikirjassa (AIP). (Trafli 2016b.)

Rajoitusalueet jaetaan pysyviin ja tilapäisiin rajoitusalueisiin. Pysyvät rajoitusalueet on perustettu Puolustusvoimien tarpeisiin sekä Suomen rajojen valvontaan. Pysyvillä rajoitusalueilla ilmailu on sallittu vain Puolustusvoimien tai Rajavartiolaitoksen asettamilla ehdoilla. Lupaa pysyvällä rajoitusalueella lentämiseen on haettava erikseen Puolustusvoimien esikunnasta erillisellä lomakkeella. Tilapäisiä rajoitusalueita voidaan perustaa Trafli päätöksellä luvun 3.11. mukaisesti. Mahdolliset lupaehdot alueilla lentämiseen määritellään päätöksen yhteydessä erikseen. (Trafli 2016b.)

Vaara-alueilla voi olla ilmailun lentoturvallisuuden kannalta vaarallista toimintaa, kuten Puolustusvoimien ammuntoa, vilkasta purjelentoa tai muuta poikkeavaa toimintaa. Pysyvät vaara-alueet on julkaistu ilmailumääräyksellä OPS M1-28 ja ne on julkaistu ilmailukäsikirjassa. Aktivoidulle vaara-alueelle saa lentää ilma-aluksen päällikön harkinnan mukaan, mutta ohjaajan tulee tiedostaa mahdolliset riskit. Ennen alueelle lentämistä ilma-aluksen päällikön tulee selvittää vaara-alueella tapahtuvan toiminnan luonne. Lennettäessä aktiiviselle vaara-alueelle lento tulisi toteuttaa koordinoidusti alueella toimivan tahon kanssa lentoturvallisuuden varmistamiseksi. (Trafli 2016b.)

Tilapäinen vaara-alue voidaan perustaa, mikäli alueella on näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa, alueella on vilkasta ilmailutoimintaa tai muuta ilmailulle vaarallista toimintaa, josta on lentoturvallisuuden vuoksi hyvä tiedottaa ilman ilmailun rajoittamista. Tilapäisen ilmatilavarauksen voi tehdä ihan tavallinen RPAS-toimija aina vuodeksi kerrallaan ja sitä haetaan erikseen Trafilta vähintään 8 viikkoa ennen toiminnan aloittamista. Ilmatila ei ole automaattisesti aktiivinen, vaan se on aktivoitava erikseen. Aktivointi tulee tehdä viimeistään lentoa edeltävänä arkipäivänä. Esimerkiksi sähköyhtiöt voivat varata ilmatiloja verkkoyhteyksiensä päälle ja aktivoita niitä vasta myrskyjen jälkeen. (Trafli 2017a.)

2.4.4 Jokamiehen oikeudet, kotirauha ja yksityisyyden suoja

Ympäristöministeriön jokamiehen oikeuksia käsittelevä teos vuodelta 2012 kieltää ilma-aluksilla nousemisen ja laskeutumisen muualla, kuin sille

tarkoitetuilta lentopaikoilta vedoten ilmailulakiin. Lentopaikalla tarkoitetaan tilapaista sijaintia ilma-aluksella nousemisen, laskeutumisen ja tankkaamisen toteuttamiseen, jolla ei ole erillistä lentokenttäluokitusta. Vain maanomistajan suostumuksesta ja poikkeuksena hätätilanteissa voidaan käyttää muitakin alueita. (Tuunanen, Tarasti & Rautiainen 2012, 106.) Vuoden 2009 ilmailulaissa (1194/2009. 82 §) ilma-aluksella kielletään ilman maanomistajan lupaa lentoon lähtö ja laskeutuminen muualla kuin sille tarkoitetuilla lentopaikoilla, poikkeuksena hätälaskeutuminen sekä viranomaisten toiminta helikopterilla. Vuoden 2014 ajantasaistetussa ilmailulaissa (864/2014. 76 §) on tehty lisäys, että kiello ei koske myöskään miehittämättömiä ilma-aluksia. Viimeisimmän ilmailulain perusteella toiminta toisen maalla ilman maanomistajan lupaa ei ole erikseen kielletty, mutta toiminnasta ilmoittaminen ja luvan kysyminen kuuluvat hyviin tapoihin.

RPAS-toimintaa rajoittavat rikoslaissa mainitut pykälät kotirauhasta ja yksityisyyden suojasta (Rikoslaki 1889/39). Kotirauhaa käsittelevä pykälä (Rikoslaki 1889/39 24:1) kieltää tunkeutumisen toisen alueelle ilman asianomaisen antamaa lupaa tai aiheuttamalla meteliä, heittämällä esineitä tai muulla vastaavalla tavalla häiritsee toisen kotirauhaa. Kotirauhan suojaamiksi paikoiksi Rikoslaki (Rikoslaki 1889/39 24:11) määrittelee seuraavalla tavalla:

”Kotirauhan suojaamia paikkoja ovat asunnot, loma-asunnot ja muut asumiseen tarkoitettut tilat, kuten hotellihuoneet, teltat, asuntovaunut ja asuttavat alukset, sekä asuintalojen porraskäytävät ja asukkaiden yksityisaluetta olevat pihat niihin välittömästi liittyvine rakennuksineen.”

Salakatselua käsittelevä momentti kieltää luvattoman katselun tai kuvaamisen (Rikoslaki 1889/39 24:6):

”1) kotirauhan suojaamassa paikassa taikka käymälässä, pukeutumistilassa tai muussa vastaavassa paikassa oleskelevaa henkilöä taikka
2) yleisöltä suljetussa 3 §:ssä tarkoitettussa rakennuksessa, huoneistossa tai aidatulla piha-alueella oleskelevaa henkilöä tämän yksityisyyttä loukatun”

RPAS-toimintaa harjoittaessa edellä mainitut lainsäädännöt on myös otettava muiden ohessa huomioon. Lennättäjä saattaa tietyissä tilanteissa rikkoa kotirauhasta säädettyä lakia lähes vahingossa, johon olisi muutoin pitänyt kysyä asukkaalta lupa. Kauko-ohjatut ilma-alukset aiheuttavat lähtökohtaisesti yllättävän paljon melua, minkä joku saattaa tulkita häiritseväksi, mitä lennon toteuttaja ei välttämättä itse tiedosta. Ilma-aluksen lennättäjä saattaa huomaamattaan syylistyä myös kotirauhan piirissä olevien henkilöiden kuvaamiseen, mitä voidaan tulkita salakuvaamiseksi. Tosin salakuvaus on käsitteenä haastavampi, ja siihen vaikuttaa kuinka kuvattavat sen tulkitsevat. Jos pihalla seisova huomaa lentolaitteen ja vilkuttaa tai hymyilee laitetta kohti, sitä voidaan pitää kuvausta hyväksyttävänä eleenä, mitä voi olla vaikea todistaa jälkikäteen. Julkisella paikalla kuvaaminen on lähtökohtaisesti laillista, mutta salakuvaukseen voi syylistyä, mikäli pääsy alueelle on estetty ulkopuolisilta. (Lauk, Uskali & Kuutti 2016.)

2.4.5 Euroopan unionin yhteinen lainsäädäntö

Euroopan Unionin yhteinen lainsäädäntö miehittämättömiä ilma-aluksia koskien on tulossa voimaan lähitulevaisuudessa. Sen tarkoituksena on selvittää ja yhtenäistää toimintamalleja unionin sisällä ja tehdä toiminnasta turvallisempaa. Tullessaan voimaan se toimii pohjana kansalliselle lainsäädännölle jäsenvaltioissa. Aikataulun mukaan asetus tulee voimaan vuoden 2018 aikana ja sen on tarkoitus olla otettuna kokonaan käyttöön unionin alueella 2021, kun jäsenvaltiot ovat tehneet tarvittavat toimenpiteet sääntelyn käyttöönottoon. (EASA 2017.)

Nykyään miehittämättömille ilma-aluksille esitetyt vaatimukset Suomessa koskevat laitteiden rekisteröintiä. Laitteen käyttäjältä ei vaadita minikäänlaista koulutusta tai lentolupakirjaa vaan pelkästään Liikenteen turvallisuusviraston määräysten (OPS M1-32) noudattaminen riittää. Tämä tarkoittaa sitä, että lain silmissä pieni hupikäyttöön tarkoitettu nelikopteri on verrattavissa raskaisiin ja mahdollisesti jopa suihkumoottorilla varustettuihin kiinteäsiipisiin ammattilaislaitteisiin. Tähän EU:n yhteinen lainsäädäntö pyrkii vaikuttamaan jakamalla alukset kolmeen eri luokkaan: Open, specific ja certified (Kuva 9, s. 19). Muutokset tuovat paljon uusia vaatimuksia laitteiden valmistajille sekä myös myyjille. (EASA 2017.)

Open-kategoria on hyvin samantapainen kuin nykyinen kansallinen malli Suomessa. Lentosäännöt ovat samoja kuin ennenkin. Joitakin muutoksia kuitenkin tulee. Esimerkiksi laitteiden maksimimassat ihmisjoukkojen lähellä/päällä lennettäessä tiukentuvat nykyisestä ja koulutus tulee lähes kaikissa tapauksissa pakolliseksi. Se tosin riippuu käytetystä laitteesta, sen painosta ja käyttötarkoituksesta. Myöskin maksimi lentokorkeus lasketaan nykyisestä 150 metristä 120 metriin. Katteoria jaetaan viiteen luokkaan (C0–C4) laitteen käyttötarkoituksen ja massan mukaan. C0-luokan laitteet ovat painoltaan alle 250 grammaa ja tarkoitettu pääasiassa leluiksi ja hupikäyttöön, tästä syystä niitä ei myöskään tarvitse rekisteröidä. Poikkeuksena ovat itsetehdyt, alle 250 gramman painoiset laitteet, joissa on yli viiden (5) megapikselin kamera. Niillä ei myöskään saa lentää yli 50 metrin korkeuteen. (EASA 2017.)

C1-luokka on korkeintaan 900 gramman painoisille laitteille ja niiden käyttö vaatii toimijan rekisteröitymisen. Käyttö vaatii myös nettikurssin ja kokeen suorittamista hyväksytysti. C1-laitteilla voi lentää 120 metrin korkeudessa tai 50 metriä esteen yläpuolella, mikäli maanomistajalta on siihen lupa. Lennättäjän on oltava vähintään 14 vuotias tai hänellä on oltava valvoja. Sekä C0- että C1-luokan laitteilla voi lentää ihmisten yli, kunhan pysyy poissa suurempien ihmisjoukkojen päältä. C2-luokkaan luetaan yli 900 grammaa, mutta alle 4 kilogrammaa painavat laitteet. Rekisteröinti vaaditaan sekä toimijalta, että RPAS-laitteelta ja lennätystä varten on suoritettava koe. Lennättäjän on oltava vähintään 16 vuotias tai valvonnan alla. Lennätysäännöt ovat muuten samat kuin C1-luokalla, mutta ihmisten päällä ei saa lentää. C3 ja C4 luokkiin luetaan yli 4 kilogrammaa mutta alle

25 kilogrammaa painavat laitteet. Lentosäännöt, ikärajat ja rekisteröinnit ovat samat kuin C2-luokallakin. Open-kategoriassa laitteiden valmistajille tulee uusia vaatimuksia. Näihin kuuluvat esimerkiksi: Geofencing, sähköinen identifikaatio, jänniterajoitukset, korkeusrajoitin, melurajoitus ja automaattinen keskeytys signaalin katketessa. (EASA 2017.)

Geofencing tarkoittaa sitä, kun järjestelmä käyttää joko GPS- tai radiosignaalia (RFID) määrittääkseen tietyt rajat toiminnalle. Tämä mahdollistaa toimijan tai viranomaisen asettamaan rajat alueelle, jolla lentäminen on mahdollista. Toimijan tapauksessa esimerkiksi maksimietäisyyden ja maksimikorkeuden ja viranomaisten tapauksessa mahdolliset lentokieltoalueet. Kun laite ylittää annetut rajat, se laukaisee varoituksen tai pysähtyy ilmaan odottamaan kutsua takaisin. (Techtarget 2016.)

Specific-kategoria on kokonaan oma kokonaisuutensa ja täysin irrallaan open-kategoriasta. Käytäntöjä ei sovelleta ristiin. Suurin ero open-kategoriaan on, että jokainen lentotehtävä vaatii erillisen ilmoituksen ja hyväksynnän. Specific-kategorian toiminta perustuu kokonaan niin sanotuille ”standardi skenaarioille” ja mikäli sellaista ei ole niin lennätystehtävästä on tehtävä riskiarviointi, Specific Operations Risk Assessment (SORA), jonka pohjalta tehdään lupahakemus. Mikäli tehtävästä on olemassa vastaava skenaario, niin matalan riskin lennoissa riittää pelkkä ilmoitus ja korkean riskin tehtävissä tehdään lupahakemus. Riskiarviointien työläyden takia koko specific-kategorian onnistuminen on täysin kiinni toimivasta skenaarioiden valmistelusta. (EASA 2017.) Tulevaisuudessa metsäalan kartoitustennot saattavat olla nimenomaan specific-kategorian alaisia lentoja, jolloin mahdollisuudet laajempien alueiden kuvaamiseen BVLOS-tehtävinä ovat huomattavasti paremmat kuin nykyisessä tilanteessa.

Certified-kategoria on vielä toistaiseksi auki, mutta se vastaa käytännössä miehitettyä ilmailua vaatimustensa puolesta. Sitä varten vaaditaan muun muassa koulutetut lentäjät, luvallinen operaattori ja tyyppihyväksytty miehitettävän ilma-alus. Se tullaan lisäämään luonnokseen vuoden 2018 aikana. Se on käytännössä tarkoitettu vaativaan yritys- ja viranomaiskäyttöön, kuten jatkuva BVLOS-toiminta ihmisjoukkojen päällä, ihmisten kuljettaminen tulevaisuudessa ja vaarallisten aineiden kuljettaminen. (EASA 2017.)

Säätelyn tasot



OPEN



SPECIFIC



CERTIFIED

- **OPEN** kategoriassa ei tarvita lennätyksille viranomaiselta hyväksyntää. Vaatimukset koskevat laitteiden valmistajia, myyjiä, rekisteröitymistä ja koulutusta.
- **SPECIFIC** kategoriassa tarvitaan erillinen ilmoittamis- tai hyväksyntä menettely viranomaisen kanssa ennen toiminnan aloittamista. Valmiita toimintamalleja eri operaatiotyypeille tullaan kirjaamaan asetukseen käytännön helpottamiseksi.
- **CERTIFIED** kategoriassa vaaditaan tyyppihyväksytty ilma-alus, luvallinen operaattori ja koulutetut lentäjät lentotoimintaa varten. Ei vielä mukana luonnoksessa, mutta tullaan lisäämään 2018.

Liikenteen turvallisuusvirasto

Kuva 9. Luonnoksessa tällä hetkellä olevat säätelyn tasot (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017).

3 TUTKIMUKSEN LENTOTYÖ

Tutkimuksessa oli tarkoitus testata edullista harrastekäyttöön ensisijaisesti suunnattua laitetta metsätaloukseen. Tutkimus suoritettiin kampukselle jo hankitulla DJI Phantom 4 -nelikopterilla, joka edustaa hyvin suositua alle 1 500 euron hintaluokassa olevaa edullisen tasoista RPAS-järjestelmää. Tutkimuksessa ideana ei ollut vertailla eri laitteita keskenään, joten kalliimpia ammattitason laitteita ei harkittu, vaan tarkoitus oli testata RPAS-järjestelmää yleisellä tasolla.

3.1 Tutkimuskoealat

Tutkimus suoritettiin Evon opetusmetsässä sijaitseville Helsingin yliopiston koealoille (Liite 3). Koealoilta on hyvin tarkat puustotiedot, joihin pystyttiin vertailemaan RPAS-järjestelmän ilmakuvista saatavia tuloksia. Koealat painottuivat varttuneista kasvatusmetsistä uudistuskypsiin metsiin. Työn luonteen vuoksi taimikoita ei haluttu mukaan tutkimukseen, sillä latvuspeittävyys ei usein ole parhain määre näillä kohteilla toimenpiteiden määrittämiseksi.

3.2 Kuvauslennot

Kuvauslennot suoritettiin kesän 2017 aikana. Lennot pyrittiin suorittamaan kesäaikana lehtien ollessa puissa. Näin pyrittiin saamaan paras mahdollinen kuva tutkittavien menetelmien mahdollisuuksista metsän arvioinnissa. Vuodenajan vaikutus tuloksiin on suuri, kun lehtipuiden ollessa lehdettämiä ne näkyvät ilmakuvissa huomattavasti paremmin ja antavat täten väärän kuvan metsikön latvuspeittävydestä.

Lennoissa pyrittiin käyttämään kiinteitä lentokorkeuksia. Akkujen tuoman rajoituksen ja kohteiden määrän vuoksi lennot suoritettiin porrastetusti neljältä eri korkeudelta: 40, 60, 80 ja 100 metristä. 40 metriä on alin turvallinen lentokorkeus kohteilla ilman pelkoa törmämisestä säästöpuihin tai varttuneeseen puustoon.

Lennot pyrittiin suorittamaan mahdollisimman samanlaisissa olosuhteissa. Sää voi lentotyön aikana usein muuttua hyvinkin nopeasti, joten äärimmäiseen tarkkuuteen sääolosuhteiden osalta oli mahdotonta päästä. Lennot pyrittiin suorittamaan optimaalisella lentosäällä, joka on kirkas mutta pilvinen tyyni sää; sateisella ja tuulisella säällä tuloksista tulee epätarkkoja. Lisäksi sade tai kova tuuli saattaa pudottaa laitteen maahan kesken lennon. Lennätysajankohdat pyrittiin ajoittamaan samaan aikaikkunaan (klo 09:00–17:00), kuitenkin mahdollisimman lähelle kesäajan keskipäivää (klo 13), ettei auringon valon tuoma varjostus toisi liikaa eroja tulosten välille.

3.2.1 Kalusto

Koealojen kuvauslennot suoritettiin kampuksen omalla DJI Phantom 4 -nelikopterilla. Se valikoitui työkaluksi sen takia, että se oli helposti saatavilla ja valmiina käyttöön ilman ongelmia. Lisäksi molemmilla lennättäjillä (Anttiroiko & Luumi) oli aikaisempaa kokemusta saman laitteen lennättämisestä aiemmin keväällä 2017. Phantom 4:n valinta työkoneeksi oli onnistunut myös laitteen yleisyyden ja suosion takia. DJI:n Phantom-kopterit ovat suosittuja paitsi harrastekäytössä, mutta myös ammattikäytössä jonkin verran. Ne ovat hinnaltaan RPAS-järjestelmiksi edullisia, mutta niissä on tarpeeksi ominaisuuksia ja optiikkaa myös ammattimaisempaan käyttöön. Myös kopterin lentoaika on 28 minuuttia optimaalisissa olosuhteissa, mikä on varsin vaikuttava hintaluokkaan nähden. Kopterin lisäksi käytössä oli laitteen kauko-ohjain, Ipad-tabletti ja neljä akkua (kuva 10). Myöhemmin tutkimukseen saatiin käyttöön myös kolme akkua lisää, jotta lentotyö saataisiin saatettua loppuun aikataulussa.



Kuva 10. DJI Phantom 4 kuljetuslaatikko ja varusteet (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Myös lennätyspaikan perustaminen vaati oman kalustonsa (Kuva 11, s. 22). Lento-onlähtö- ja laskeutumispaikka oli, jos mahdollista, eristetty liikennekartioilla, jotta se pysyy vapaana mahdollisista esteistä lento-onlähdölle ja/tai laskeutumiselle. Lennätyspaikan kalustoon kuului myös ensiapupakkaus ja ensisammutusväline (sammutuspeite), sekä lennättäjälle tarpeelliset dokumentit turvallista lennättämistä varten (tarkistuslista, riskianalyysi ja lentopäiväkirja). Lentopaikan henkilöstö käytti myös huomiovaatetusta ja kypärää.



Kuva 11. Lennätyspaikka ja varusteet (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Käytössä ollut tabletti yhdistettiin kauko-ohjaimeen USB-kaapelin välityksellä ja siitä hallinoitiin lentotyössä tarvittavia ohjelmistoja (DJI GO ja Maps made Easy). DJI GO mahdollistaa kopterin tarkan ja turvallisen lennättämisen käsiohjauksella, sillä se näyttää kopterin kameran kuvan lisäksi laitteen sijainnin pienessä karttaikkunassa, laitteen lentokorkeuden, lentonopeuden ja etäisyyden lennätyspaikasta. Lisäksi sovelluksesta voi asettaa automaattisen kotiinpaluukorkeuden tilanteeseen sopivaksi, säätää korkeimman sallitun lentokorkeuden ja maksimietäisyyden lennätyspaikasta (ns. home point). Koska DJI GO ei voi suorittaa kartoituslentoja, käytettiin sitä varten Maps made Easy -sovellusta, joka on tehty nimenomaan kartoitusta silmällä pitäen. Maps made Easya käytettiin kartoitettavan alueen rajaamiseen ja muiden parametrien asettamiseen. Näitä ovat esimerkiksi lentokorkeus, korkein sallittu lentonopeus, kuvien pituus- ja leveyspeitot sekä kameran asetukset onnistuneiden kuvien mahdollistamiseksi.

Automaattilento edellä mainitulla sovelluksella ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Kopteri laskee lentokorkeutensa lentoonlähtöpaikan korkeuskoordinaatista, eikä päivitä sitä reaaliaikaisesti. Tämä mahdollistaa tarkan kartoituslennon mutta lennättäjän on varmistuttava, että lentokorkeus riittää ylittämään mahdollisten korkeuserojen aiheuttamat korkeuserot puustossa turvallisen välimatkan päästä. Esimerkiksi harjujen läheisyydessä toimittaessa on oltava varma, että RPAS ei törmää puuhun suuren korkeusvaihtelun seurauksena. Muuttumaton lentokorkeus suhteessa todelliseen etäisyyteen maanpinnasta vaikeuttaa RPA-laitteiden käyttöä mäkisessä maastossa toimittaessa. Toinen ongelma on laitteiston hankala

liikuteltavuus maastossa. Mikäli kartoitettavalle kohteelle pääsee ajoneuvolla, on RPAS-järjestelmä nopea ja helppo tapa suorittaa alueen kartoitus, sillä lennätyspaikan perustaminen ja laitteen lentokuntoon saattaminen vie vain muutamia minuutteja. Mutta jos kohteelle pitää liikkua pitkä matka jalan, saattaa ison kuljetuslaatikon kantaminen käydä raskaaksi, etenkin jos käytössä ei ole erikseen RPAS-laitteille tarkoitettua kuljetusrepua. RPAS-laitteen koko saattaa tässä tapauksessa tuottaa ongelmia, ellei käytössä sitten ole pientä ”taskukopteria”, esimerkiksi DJI Mavic Pro.

3.2.2 Lentojen suunnittelu

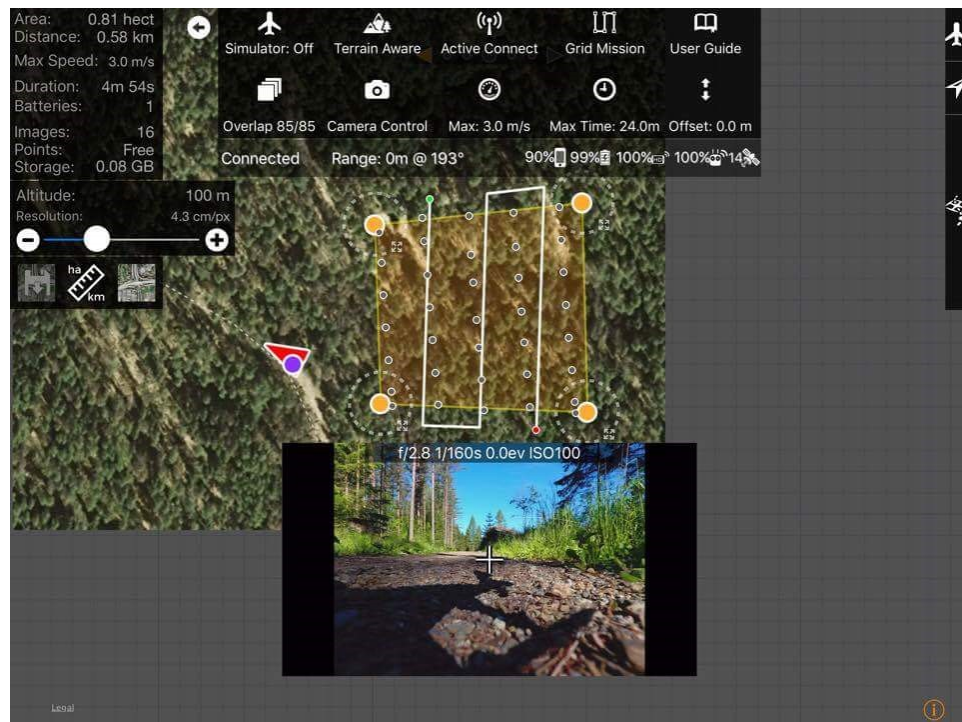
Ennen kuin RPAS voidaan nostaa ilmaan, on lento suunniteltava huolella. Ensimmäinen askel on varmistua siitä, että kohde ei ole lentokieltoalueella. Mikäli kohde osuu lentokentän CTR-, FIZ- tai RMZ-alueelle, on lennonjohtoon oltava yhteydessä ja pyydettävä lupa lentoonlähtöön, mikäli laitetta on tarkoitus lennättää yli 50 metrissä, tai alle 5 km etäisyydellä kii-
totiestä. Seuraavaksi tulee valita sopiva lennätyspaikka ja tehtävä tarpeelliset toimenpiteet paikan merkitsemiseksi ja/tai eristämiseksi mikäli sille nähdään tarvetta. Lentoonlähtöpaikka on valittava siten, että laitteella on ympärillään riittävästi tyhjää tilaa ja ettei esimerkiksi läheisten puiden oksia ole laitteen yläpuolella. Mikäli laitetta lennätetään yksin, on lennätyspaikasta oltava myös näköyhteys laitteeseen. Mikäli lennättäjällä on apunaan tähyistäjä, ei näköyhteyttä lennätyspaikalta tarvitse olla, kunhan laite on jommankumman näkyvissä koko ajan ja tähyistäjällä on katkeamaton puheyhteys lennättäjään. Esimerkiksi radiopuhelin käy tähän hyvin. (Trafic 2016a.)

Lennätyspaikalta on myös tehtävä riskianalyysi, jolla on tarkoitus minimoida vahingon mahdollisuus. Riskianalyysiin ei ole mitään virallista pohjaa, joten sen voi laatia parhaaksi näkemällään tavalla. Tähän työhön käytettiin Hämeen ammattikorkeakoulun omaa riskianalyytipohjaa (Liite 1). Sen tarkoituksena on saada kauko-ohjaaja tiedostamaan lennätyspaikalla olevat lentoesteet, näköesteet, GPS- tai radiosignaalia häiritsevät tekijät, asutus ja alueella liikkuvat ihmiset. Näiden lisäksi siinä tulee huomioida lentotehtävän vaativuus ja luonne (VLOS vai BVLOS), lentopaikan eristämisen tarve ja mahdollinen liikenteenohjauksen tarve.

3.2.3 Lennot

Itse lennot suoritettiin kesä-heinäkuussa 2017 Evon opetusmetsän alueella. Lennätyspaikat pyrittiin valitsemaan valittujen koealojen sisältä, mutta tilanteissa, joissa se ei ollut mahdollista tai koealan sijainti oli epävarma, se valittiin hyvästä paikasta mahdollisimman läheltä koealaa, jotta rajallisesta akkukapasiteetista saatiin kaikki irti. Laite kalibroitiin jokaisella lennätyspaikalla, jotta tuloksesta saataisiin mahdollisimman onnistunut.

Kalibroinnin jälkeen testattiin kopterin toiminta ja lopuksi ennen itse kartoituslentoja asetettiin parametrit Maps made Easy -sovellukseen (Kuva 12).



Kuva 12. Maps made Easy -sovellus (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Lentojen aikana kohdattiin myös erilaisia ongelmia. Ongelmia aiheuttivat niin tekniset ongelmat kopterin ja sovellusten kanssa, kuin myös virhearvioinnit itse lennon aikana. Yleisin ongelma oli kopterin hidas lentäminen koealalle. Tämä vaikutti eniten niillä aloilla, joilla lennätyspaikka piti valita kauemmas koealasta. Havaittiin kun laitteen nosti ilmaan ja lähetti lentotehtävään, se lensi siirtymän koealalle paljon hitaammin kuin itse kartoitustehtävään, joille lentonopeudeksi oli asetettu maksimiksi 3 m/s. Tämä söi paljon akkua, joka puolestaan lisäsi riskiä toiseen ongelmaan. Mikäli kopterin oli palattava akunvaihtoon kesken lentotehtävän, tuli tehtävän jatkuessa usein ruudulle ilmoitus: "Camera is not connected", eikä laite enää suostunut jatkamaan lentotehtävää, mikä tarkoitti, että alue jäi osittain kartoittamatta ja lento piti suorittaa kokonaan uudestaan. Tämä ongelma saatiin ratkaistua siten, että tarvittavat akunvaihdot tehtiin aina lentojen välissä. Kun laite lähetettiin kuvauslentojen päätyttyä huoltoon, selvisi ongelmaksi tekninen vika itse laitteessa, joka korjattiin takuuhuollon yhteydessä. Ongelma lentonopeuden kanssa saatiin ratkaistua tallentamalla lentotehtävä sovelluksen muistiin ja uudelleen avaamalla se. Jostain syystä tallennettuja lentotehtäviä suorittaessaan laite lentää lentoonläh-
töpaikalta kartoituksen alkupisteeseen paljon nopeammin kuin tallentamattomissa tehtävissä.

Yksi kuvauksen onnistumisen kannalta tärkeimpiä tekijöitä on niin sanottu motion blur -ilmiö (Oxford dictionary n.d.). Tämä tarkoittaa kuvassa olevaa epätarkkuutta joka johtuu kuvattavan kohteen liikkeestä kuvauksen aikana. Ilmiö on sitä suurempi, mitä kauemmin kameran suljin on auki. Tämä muodostuu ongelmaksi tilanteissa, joissa valotus on huono, sillä silloin myös sulkimen on oltava auki kauemmin, jotta kennoon pääsee tarpeeksi valoa. Ongelma pyrittiin minimoimaan lentämällä tarpeeksi hyvässä valossa ja pitämällä suljinaika tarpeeksi lyhyenä (1/160 s).

Lennättäjän virhearvioilla tarkoitetaan tässä tapauksessa törmäyksiä puihin tai niin sanottuja ”läheltä piti” -tilanteita. Yhden kerran laitteen automaattinen esteentunnistus pelasti törmäykseltä. Kartoitettava alue oli aivan Syrjänalusen harjun vieressä ja maaston jyrkkyyden seurauksena laite oli törmätä puun latvaan, mutta laite tunnisti esteen ja kutsuttiin takaisin ”Palaa lähtöpisteeseen” -toiminnoilla. Toisella koealalla laite törmäsi laskeutuessa tehdyn, hätiköidyn korjausliikkeen seurauksena oksaan ja putosi. Matalan pudotuksen ja pehmeän sammaleen ansiosta kopteri ei kärsinyt vahinkoja ja lentotyötä voitiin jatkaa suunnitelman mukaisesti.

4 AINEISTON KÄSITTELY

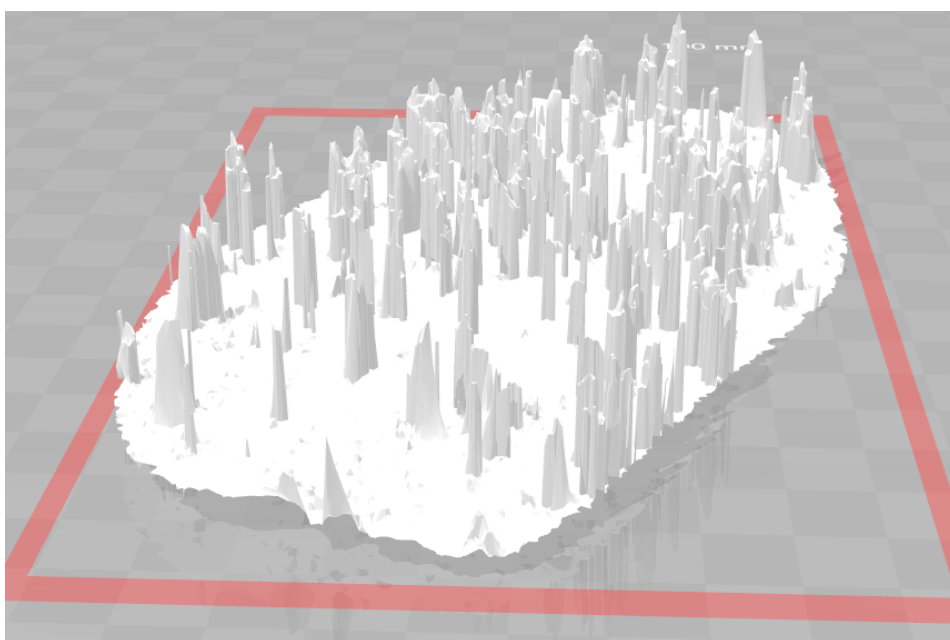
Aluksi aineiston käsittelyyn harkittiin käytettäväksi myös pilvipalveluja (maps made easy, Pix4D, DroneDeploy tms.), sillä ne eivät vaadi ohjelman lataamista koneelle ja näin ollen eivät ole koneesta riippuvaisia. Niissä on kuitenkin tämän tutkimuksen kannalta enemmän puutteita kuin vahvuuksia, joten niitä ei päätetty käyttää työhön. Pilvipalvelut ovat esimerkiksi Agisoft Photoscan -ohjelmaan verrattuna suppeita, kankeita ja kalliita käyttää. Ne ovat yleensä räätälöityjä yhteen tiettyyn tehtävään ja ne taipuvat huonosti muihin käyttötarkoituksiin, esimerkiksi tässä tapauksessa metsän mallintamiseen. Lisäksi esimerkiksi DroneDeployn suodattimet ovat metsän mallintamiseen liian tehokkaat (kuva 13). Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelma suodattaa latvuston pisteitä pois merkittävästi, jolloin lopullisesta mallista tulee usein aukkoinen ja harva. Toisaalta esimerkiksi rakennusten mallintamiseen aggressiiviset suodatusasetukset ovat usein välttämättömiä, jotta kohteet saadaan mahdollisimman tarkasti mallinnettua. Pilvipalveluissa ei myöskään voida tarkastella malleja yhtä yksityiskohtaisesti, eikä pintamallien luominen ja saaminen ulos ole yhtä helppoa Agisoftiin verrattuna.



Kuva 13. Dronedeploylla tuotettu 3D-malli koealalta 1079, 100 metrin lentokorkeudelta (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Maps made Easyn oma pilvipalvelu soveltuu DroneDeployta paremmin metsän mallintamiseen. Palvelun tuottama 3D-malli ei ole yhtä harva kuin

DroneDeploylla, mutta sen informatiivisuus on usein huono. Malli on kokonaan valkoinen, mikä tekee sen tulkitsemisesta hankalaa (kuva 14). Ohjelma tosin tuottaa aineistosta myös pistepilven, jota voidaan hyödyntää eri tarkoituksissa. Maps made Easy -sovelluksen etu on sen edullisuus muihin pilvipalveluihin verrattuna (kuva 15). Pienet, muutaman kuvan laajuiset työt ovat maksuttomia ja kohtalaisen nopeita toteuttaa, mutta palvelussa on käytössä progressiivinen hinnoittelu ja hinta hehtaaria kohden laskee aineistojen suuruuden kasvaessa. Pilvipalvelut ovat lähtökohtaisesti tilausluonteisia palveluita, eli palvelun käytöstä on maksettava tietyn määräjain välein, mutta myös pysyviä lisenssejä on tarjolla suoraan valmistajilta. Agisoft Photoscan Professional Editionin kertalicenssi maksaa saman verran kuin Drone Deploy Business -version tilaus hieman yli vuodeksi, ja on yksityiskohtaisempien työkalujensa ansiosta usein perustellumpi.



Kuva 14. Maps made Easyn tuottama 3D-malli (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Sovellus	Maps made easy	Pix4D	Drone deploy Business	Agisoft Professional Edition
Hinta suoraan valmistajalta	0,16 - 0,055 (\$/ha)	2600 (\$/vuosi) tai 6500 \$	2999 (\$/vuosi)	3499 (\$)

Kuva 15. Ilmakuvien prosessointiin luotujen palveluiden hintavertailua suoraan valmistajilta ostettuna (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Kuvien käsittelyyn ja jatkojalostamiseen päädyttiin nopeasti käyttämään Agisoft Photoscan Professional Edition -ohjelmistoa, jolle koululla on lisenssi ja jota voi kuukauden ajan kokeilla maksutta. Pilvipalveluihin verrattuna Agisoftilla voidaan luoda huomattavasti laajemmilla asetusvaihtoehdoilla tuotettuja fotogrammetrisia malleja. Agisoft luo ilmakuvista ensin pistepilviä vertailemalla kuvien yhteneväisyyksiä toisiinsa. Pistepilvistä voi-

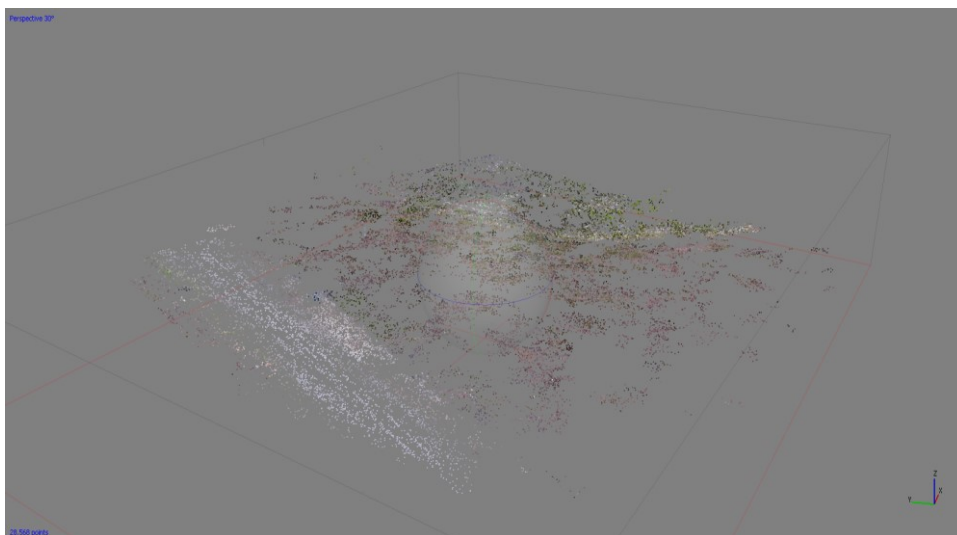
daan lopulta luoda georeferoituja kolmiulotteisia malleja, jotka mahdollistavat kohteen, tässä tapauksessa metsän, visuaalisen tarkastelun. Ohjelma on kokonaisuudessaan helposti edettävä ja käyttöohje on suhteellisen kattava. Ohjelmassa edettiin ohjelmalle tarkoitetun käyttöohjeen mukaisesti. (Agisoft LLC 2017.)

4.1 Ilmakuvien käsittely Agisoft Photoscan -ohjelmistolla

Kuville ei tarvitse tehdä mitään ennakkotoimenpiteitä ennen Agisoft-ohjelmaan tuontia. Kuvia tuodessa huomattiin, ettei Phantomin automaattisesti ottama kuva maanpinnalta sovellu fotogrammetriseen tarkasteluun, joten jokaiselta lennolta se poistettiin erikseen. Jokaiselle lentokorkeudelle luotiin oma kansio, joka sisälsi lennon kuvat. Kuvat tuodaan Agisoftiin Workflow-osion kohdasta Add photos, jonka kautta kuvat lisätään projektiin ohjelman hyväksymissä formaateissa.

4.1.1 Kuvien linjaan asettelu

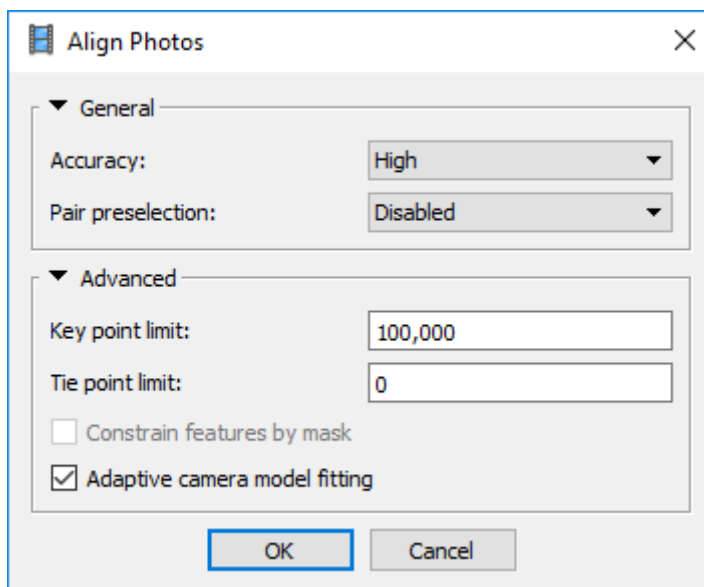
Ensimmäisenä vaiheena pistepilven luomisessa on kameroiden suuntaus eli Camera alignment. Tässä vaiheessa ohjelma arvioi kameran sijainnin ja suuntauksen jokaiselle kuvalle. Kuvien sijaintitietojen ja kuvista saatujen vastinpisteiden perusteella kuvista saadaan luotua ensimmäinen pistepilviaineisto (kuva 16).



Kuva 16. Harva pistepilviaineisto eli sparse point cloud koelalalta 1079 60 metrin lentokorkeudelta (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Prosessiin on mahdollista vaikuttaa asetuksin (kuva 17, s. 29). Accuracy-kohdassa voidaan vaikuttaa kameroiden estimoidun sijainnin tarkkuuteen. Alhainen asetus mahdollistaa kuvien nopeamman linjaan asettelun uhraa-

malla aineistojen tarkkuutta. Tutkimuksessa kokeiltiin erilaisia vaihtoehtoja ja vakioasetus "High" soveltui käyttöön riittävästi. Korkean ja korkeimman asetuksen välillä ei havaittu merkittäviä eroja laadussa ja vastinpisteiden löytymisessä, mutta prosessin kesto on korkeimmalla asetuksella hitaampi (kuva 18, s. 30).



Kuva 17. Kuva käytetyistä asetuksista Align Photos -kohdassa (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).



Kuva 18. Korkeimman ja korkean tarkkuusasetuksen vertailu kuvien linjaan asettelussa. Korkein tarkkuus ei tuo merkittävää parannusta vastinpisteiden löytymisessä ja prosessointi on hitaampaa. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Tutkimuksessa havaittiin kohteiden luonne nopeasti haastavaksi kuvien linjaan asettelussa. Metsäisillä kohteilla, joissa ei lähtökohtaisesti tarkastella yhtä kiinteää kohdetta eri suunnista osoittautui haastavaksi niin Agi-

softille kuin pilvipalveluille. Olosuhteiden nopea muutos lennon aikana vaikuttaa hyvin nopeasti kuvien valoisuuteen eikä ohjelma usein löydä kuvista riittävästi vastinpisteitä, jolloin tuloksista tulee aukkoisia eikä kuvista saada luotua yhtenäistä mallia.

Parien esivalinta-kohtaa ei nähty järkeväksi metsäisillä kohteilla juurikin edellä mainituista syistä eikä ohjelma usein näitä asetuksia käyttäen löytänyt riittävästi vastinpisteitä kuville ja tuloksista tuli aukkoisia. Kuvien mallintamiseen havaittiin lisäasetus-valikosta löytyvistä pisterajoituksista olevan jonkin verran hyötyä. Lisäasetuksille ei löydy virallisesta ohjekirjasta riittävää ohjeistusta, joten apua haettiin tukipaneelin foorumilta. Key point limit tarkoittaa vastinpisteiden maksimimäärää, jonka Agisoft erottelee kustakin kuvasta. Yhtä oikeaa asetusta tähän kohtaan ei ole ja käytettävään lukuun vaikuttaa lentolaitteen kameran tarkkuus. Ohjelma käyttää vakiona arvoa 40 000, mikä testien perusteella soveltuu hyväksi luvuksi käyttöön yleisesti, käytettäessä pienempää lukua löydettyjen vastinpisteiden määrä putoaa selvästi ja suurempaan vaikuttaa kameran laatu. DJI Phantom 4 -kuvauskopterissa käytetään 12,4 megapikselin kameraa ja sen tuottamista kuvista Agisoft pystyi parhaimmillaan erottelemaan noin 100 000 pistettä. Key point limitin nostaminen vakioarvosta arvoon 100 000 auttoi joidenkin kohteiden kuvien linjaan asettelussa, missä kaikkia kuvia ei saatu yhdistettyä vakioarvolla, mutta korkeampi arvo mahdollisti riittävän määrän vastinpisteitä. Tie point limit -kohtaan havaittiin toimivaksi arvoksi luku 0 eli ääretön. Tähän päädyttiin tukipaneelistä ja foorumilta saatujen vinkkien perusteella. Agisoft käyttää tässä kohdassa vakiona lukua 1 000, mikä tarkoittaa, että ohjelma erottelee jokaisesta kuvasta 1 000 sen itse parhaimmaksi määrittelemää pistettä, joiden pohjalta se yhdistää kuvat. Luku 0 ei aseta mitään rajoitteita joka tuntuu soveltuvan hyvin puustoisille kohteille. Arvolla voidaan vaikuttaa merkittävästi prosessin nopeuteen ja käytettäessä arvoa 0 kuvien linjaan asettelu on hitaampaa.

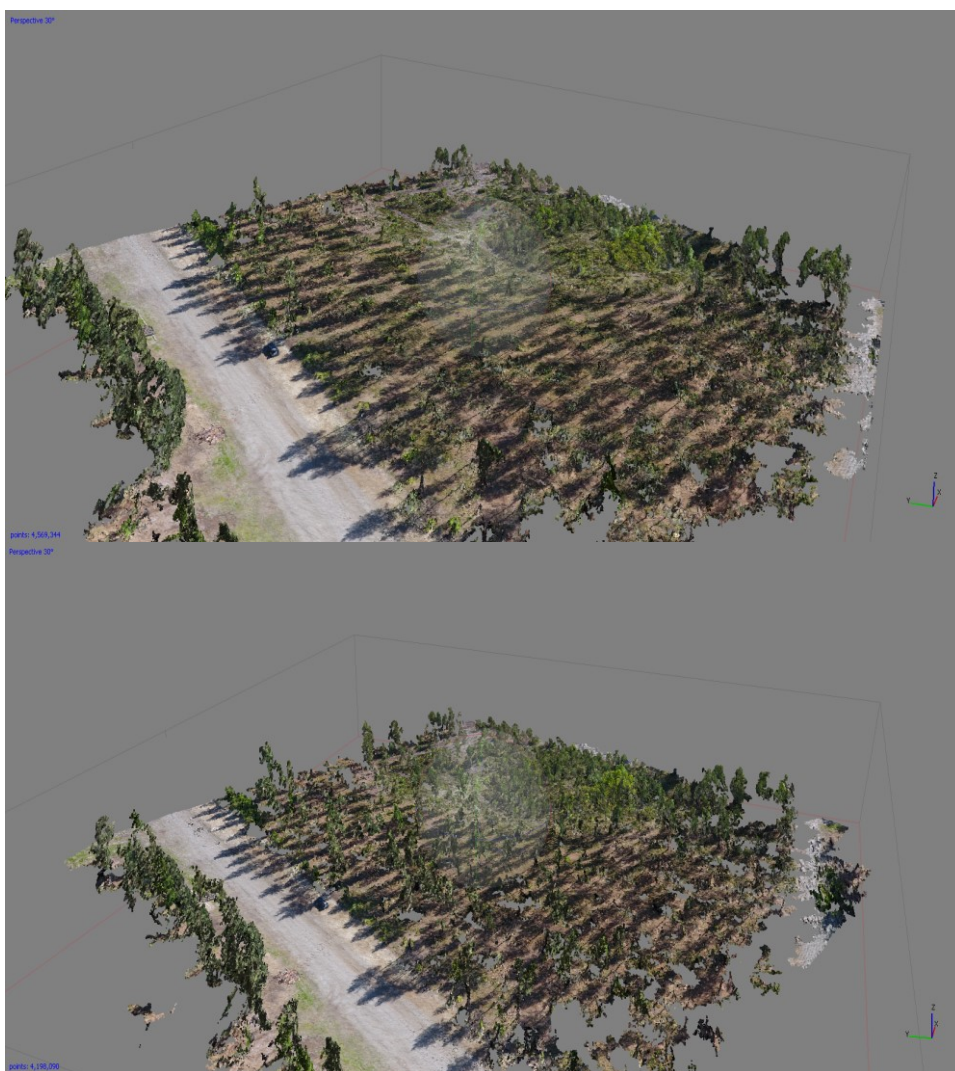
4.1.2 Tihennetty pistepilvi ja teksturoitu 3D-malli

Kuvien linjaan asettelun jälkeen ohjelmassa luodaan aineistolle tihennetty pistepilvi eli dense point cloud, joka mahdollistaa myöhempien tekstuuripintojen liittäminen 3D-malliin ja kohteen kolmiulotteisen tarkastelun. Tihennetystä pistepilvestä voi jo tarkastella maaston muotoja ja kohteen puustoisuutta.

Prosessin tarkkuuteen ja suodatukseen voidaan vaikuttaa asetuksilla. Tarkkuudeksi käytettiin vakioasetusta High, mutta Depth filtering -kohdassa vakiona käytettävä ja ohjeen yleisesti ilmakuvaukseen suosittelema Aggressive-asetus osoittautui erittäin huonoksi metsäkohteiden mallinnukseen. Erityisesti korkeammilta lentokorkeuksilta prosessi alkoi tällä asetuksilla rajata merkittäviä korkeuseroja eli tässä tapauksessa puita pois, antaen tu-

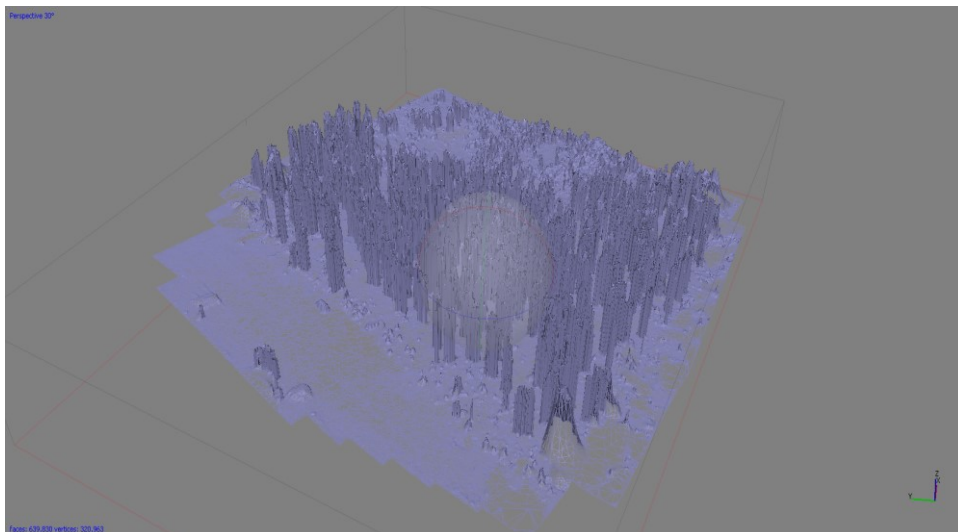
loksena lähes puuttomia kohteita. Vaihtoehto Mild soveltui haettuja tuloksia ajatellen tähän paljon paremmin, sillä Agisoft ei tällä asetuksella rajaa puita pois pistepilviaineistoa luodessa (kuva 19).

Depth filteringillä tarkoitetaan tiennetyn pistepilven muodostuksessa tapahtuvaa korkeuserojen suodatusta. Sillä on tarkoitus terävöittää huonosti tarkentuneista kuvista johtuvaa muotojen sumuisuutta. (Agisoft LLC 2017.) Kuten aiemmin mainittu, niin mitä kovempi suodatus, sen kehnommin se soveltuu metsän mallintamiseen. Järjestelmä suodattaa pois välillä kokonaisia puita, jolloin mallista tulee aukkoinen tai harva, mikä puolestaan ei vastaa todellisuutta.



Kuva 19. Tihennetty pistepilviaineisto Helsingin yliopiston koealalta 1079 100 metrin lentokorkeudelta. Ylempänä aineisto ajettu Aggressive-asetuksella, mikä näkyy mallin vähäpuustoisuutena, kuvassa alempana sama malli ajettuna mild-asetuksella. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Tiheän pistepilven jälkeen luodaan mesh. Mesh luo tiheän pistepilven pohjalta verkkomaisen rakenteen eli yhdistää pisteet yhdeksi pinnaksi (kuva 20). Verkkomaisesta pintaa luodessa ei tehty merkittäviä muutoksia asetuksiin. Surface type -kohdassa käytettiin Height field -asetusta Arbitraryyn sijaan, mitä ohje suosittelee maa-alueiden ilmakuvaukseen, kun taas Arbitrary on suunnattu kiinteille yksittäisille kohteille.



Kuva 20. Mesh eli verkkomainen malli (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Verkkomaisen rakenteen jälkeen 3D-malliin luodaan tekstuuripohjat Build Texture ja Build Tiled Model -kohdista, jotka luovat realistisemman kuvan kuvatusta alueesta (kuva 21). Ohjelma värittää 3D-mallin ilmakuvien perusteella ja näin alueesta saadaan luotua paljon todenmukaisempi malli.

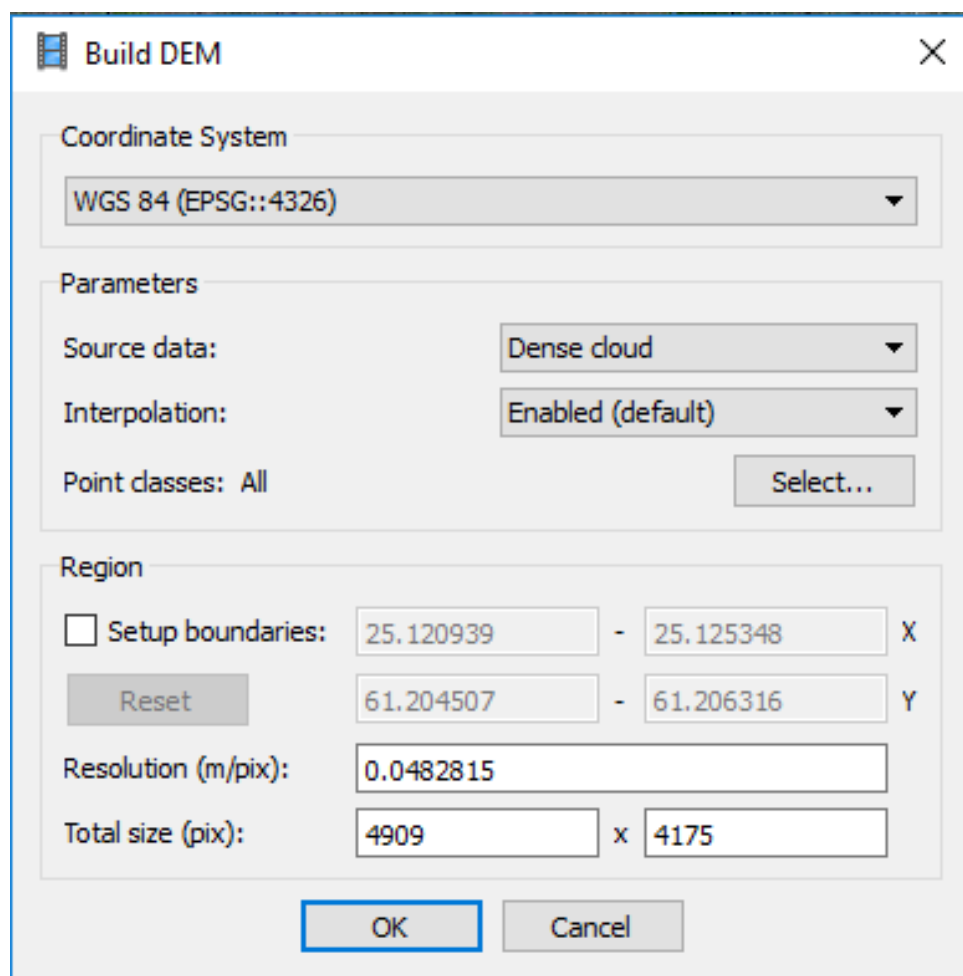


Kuva 21. Teksturoitu 3D-malli Helsingin yliopiston koealasta 1079 (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

4.2 Puuston korkeusmallin luominen

Puuston pituuden ja latvuspeittävyys arvioimiseksi mallit pitää jatkojalostaa ArcGIS-ohjelmistossa. Tätä varten saaduista tuloksista on luotava kasvillisuuden pintamalli CHM (Canopy Height Model), mikä on pisteaineiston korkeimpien pisteiden muodostama pintamalli eli DSM:n (Digital Surface Model) ja maaston maanpintamallin eli DTM:n (Digital Terrain Model) erotus. Maaston pintamallin eli DSM:n saa tuotettua Agisoftilla jatkojalostamista varten Export DEM -työkalun avulla. DEM eli Digital Elevation Model tarkoittaa usein maanpintamallia, mutta tässä tapauksessa sillä viitataan koko maaston pintamalliin eli DSM:ään, missä on mukana puuston ja muiden kiinteiden kohteiden korkeus.

Agisoftilla voidaan luoda sekä koko maaston pintamalli, että erillinen maanpintamalli, kun käytetään vain erikseen luokiteltuja maanpintapisteitä. Pintamalli luodaan ohjelmassa tihennetyn pistepilven pohjalta, eikä mallien luomiseksi tarvita visuaaliseen tarkasteluun tarvittavia toimenpiteitä. Agisoft tuottaa mallin halutussa koordinaatistossa, mikä on vakiona WGS 84 (kuva 22), jonka voi myöhemmin muuttaa haluamakseen ArcGIS-sovelluksessa.

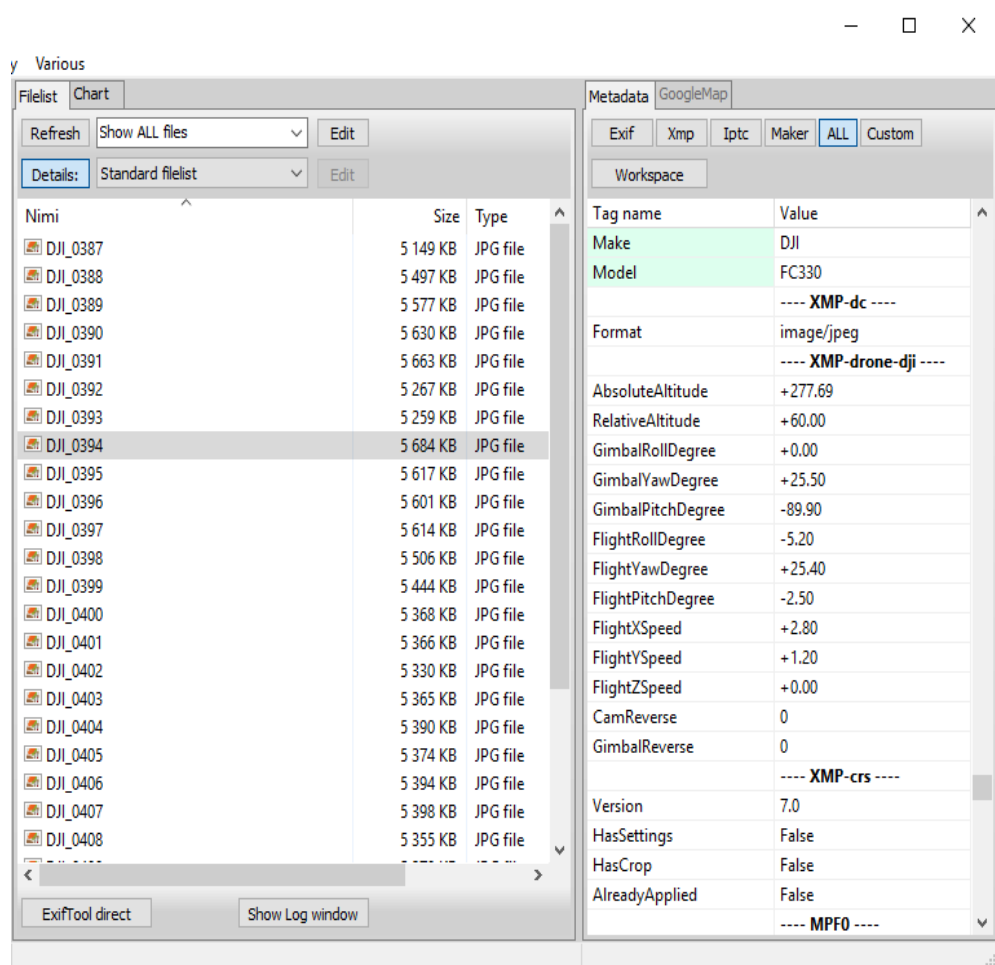


Kuva 22. Pintamallin luominen Agisoft-ohjelmistolla ArcGIS:iin siirtämistä varten (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

4.2.1 Ongelmatilanteet

Aluksi ajatuksena oli tuottaa ilmakuvista jalostetut maaston pintamallit Agisoftilla ja Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen maanpintamallin vähentäminen malleista kasvillisuuden oman pintamallin luomiseksi. MML:n maanpintamalli on laserkeilausaineistosta tuotettu ja samalla tarkin laajoille alueille tuotettu maanpintamalli, missä maanpinnan korkeus on kahden metrin tarkkuudella.

Ongelmaksi huomattiin nopeasti RPAS-järjestelmän ilmakuvista tuotettujen pintamallien korkeudet. Edes muuttamalla koordinaattijärjestelmä samaksi kuvien korkeus ei ole millään tavoin todenmukainen ja täten vertailukelpoinen avointen aineistojen korkeuteen merenpinnasta (kuva 23).

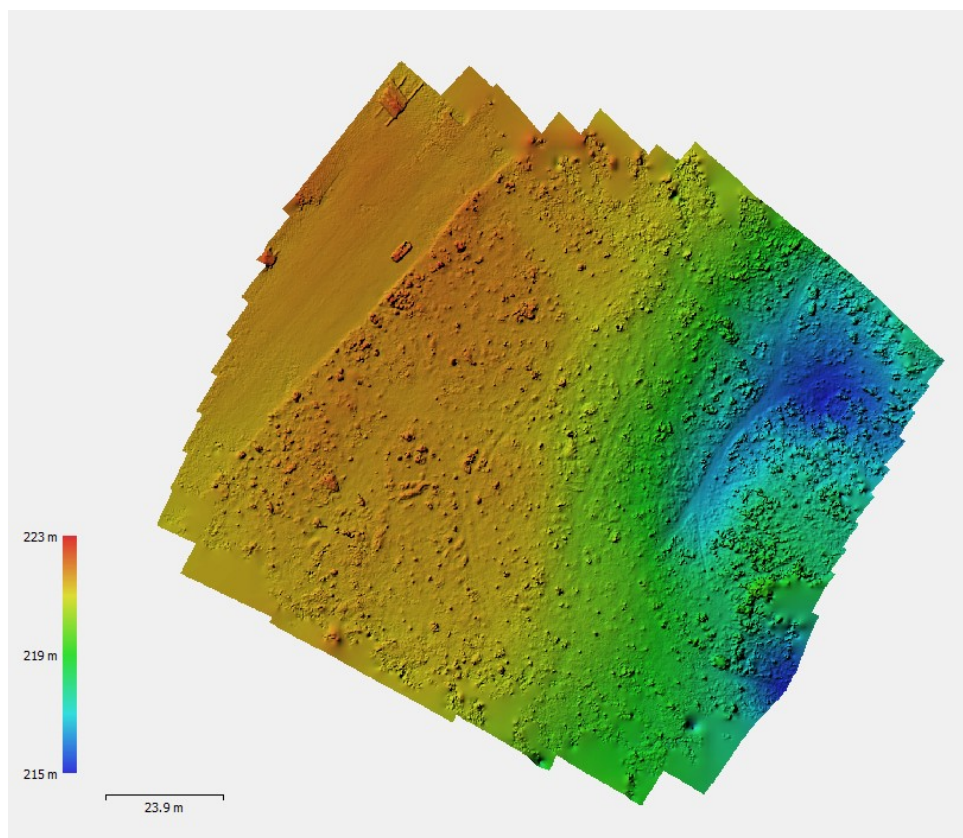


Kuva 23. Kuvien exif- eli metadata-tiedoista käy ilmi kuvien korkeusongelmat, joten vika on laiteperäinen. Suhteellinen korkeus on oikea ja sama kuin lentokorkeus (60 m), mutta absoluuttinen korkeus ei ole vertailukelpoinen avoimeen dataan. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Evolla maanpinnan korkeus merenpinnasta on paikasta riippuen noin 130 metriä, ja Phantomista saadut tulokset vaihtelivat 150 metrin ja 300 metrin välillä. Lennoissa ei käytetty ulkoista orientaatiota eli RTK GPS:llä mitattua referenssipistettä jokaisen lennon alussa, sillä paikannuslaite on RPAS-järjestelmän hinta huomioiden kannattamaton, jos itse GPS maksaa moninkertaisesti RPAS-järjestelmään verrattuna. Ongelman vahvistamiseksi yksi koeala lennettiin uudestaan toisella identtisellä Phanom 4 -nelikopterilla ja tulokset olivat samat, niin Pix4D-, kuin Maps Made Easy -sovelluksellakin, jotta voitiin varmistua ongelman olevan yleinen.

Lopputuloksena päädyttiin käyttämään Agisoftista tuotettuja maanpintamalleja, jotka osoittautuivat kokeiluilla tarkoiksi, jossa mallintuvat myös kaikki ojat, kivet ja kannot, mitkä eivät erotu yhtä yksityiskohtaisesti MML:n maanpintamallissa.

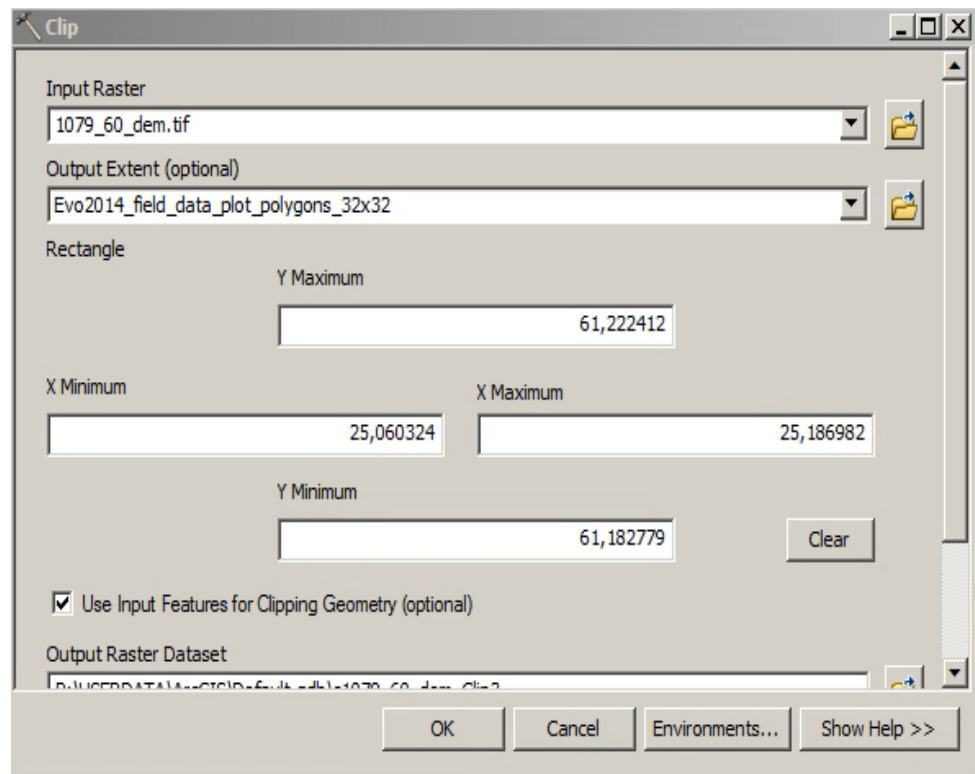
Agisoftissa maanpintamalli luodaan luokittelemalla tiheälle pistepilvelle vain maapisteet työkalut-valikon kohdasta Dense cloud -> Classify ground points. Näin aineistosta saadaan rajattua kaikki muut vastinpisteet pois maanpintaa lukuun ottamatta. Saaduille maapisteille luodaan uusi verkko-mainen rakenne eli mesh, jonka pohjalta DTM saadaan luotua (kuva 24)



Kuva 24. Agisoft-ohjelmistolla luotu maanpintamalli eli DTM (kuva: Antti-roiko & Luumi 2017).

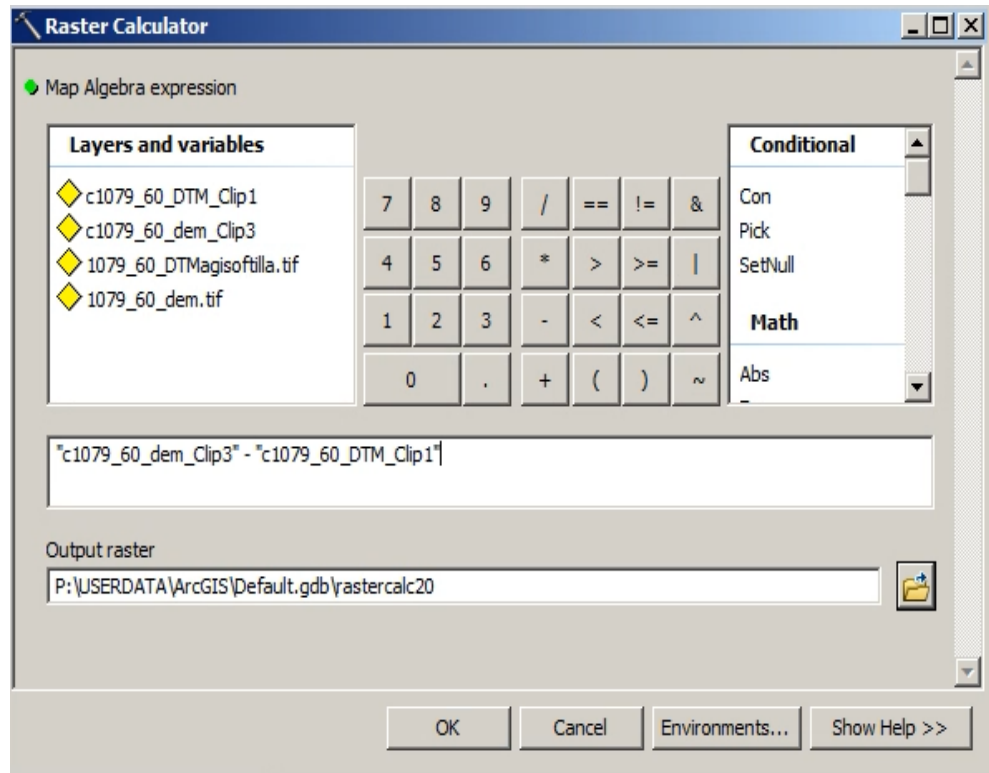
4.2.2 Puuston korkeusmallin luominen Arcmap-ohjelmassa

Kasvillisuuden pintamallin luomiseksi Arcmap-ohjelmassa saadut pintamallit tuodaan agisoftista .shp-tiedostoina. Pintamallit liitetään tasoina ja niiden koordinaattijärjestelmä muutetaan EUREF FIN TM35FIN -koordinaattistoon, jotta Helsingin yliopiston koealat pystytään rajaamaan lennoista. Koeala rajataan sekä maaston pintamallista, että maanpintamallista Data management -osion Clip-työkalulla (kuva 25).



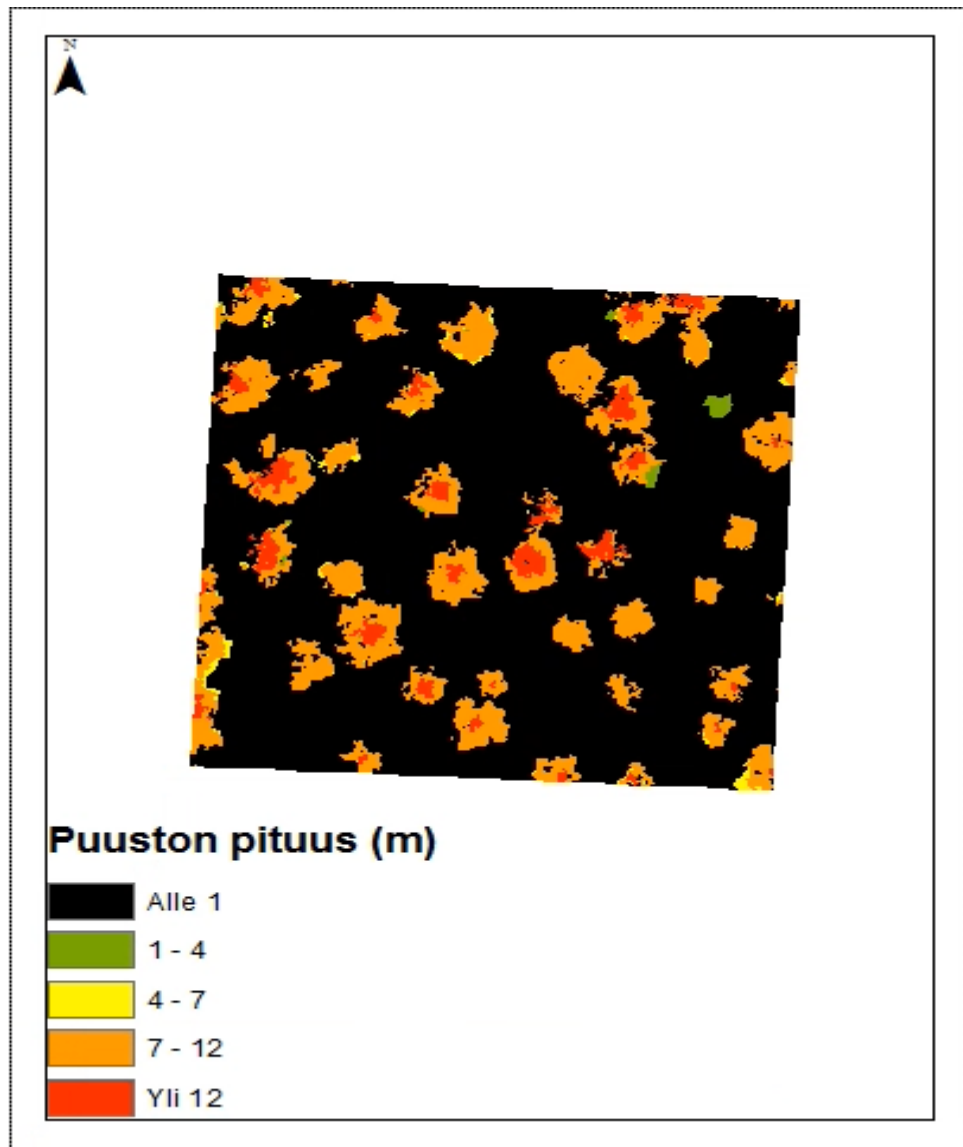
Kuva 25. Koealojen rajausta luoduista pintamalleista (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Puuston korkeusmallia kuvaava CHM saadaan vähentämällä maanpintamalli maaston pintamallista Spatial Analyst -laajennuksen Raster calculator -työkalulla (kuva 26, s. 38).



Kuva 26. Puuston pituutta kuvaava kasvuston pintamalli CHM (Canopy Height Model) saadaan maaston pintamallin ja maanpintamallin erotuksesta (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Erotuksesta saadaan puuston pituutta kuvaava kasvillisuuden pintamalli CHM (kuva 27, s. 39). Kuvassa maapisteet näkyvät mustana ja kohteen korkeuseroja on helppo tarkastella visuaalisesti.

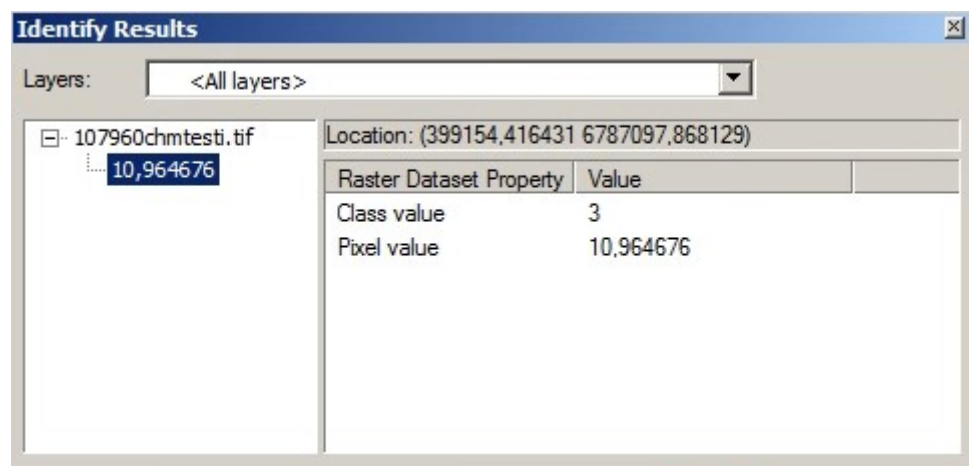


Kuva 27. Puuston pituusmalli eli CHM koealalta 1079 60 metrin lentokorkeudesta (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Saatua korkeusmallia voidaan tarkastella myös kolmiulotteisesti esimerkiksi ArcScene-ohjelmassa (kuva 28, s. 40). Yksittäisen puun pituuksia voidaan tarkastella helposti Identify-työkalulla puun korkeimmasta pisteestä (kuva 29, s. 40).



Kuva 28. Kolmiulotteinen näkymä saadusta puuston korkeusmallista ArcScene-ohjelmassa (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).



Kuva 29. Kuvassa "Pixel value" ilmaisee pikselin korkeuden maanpinnasta, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa yksittäisen puun pituutta eli noin 11 metriä (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

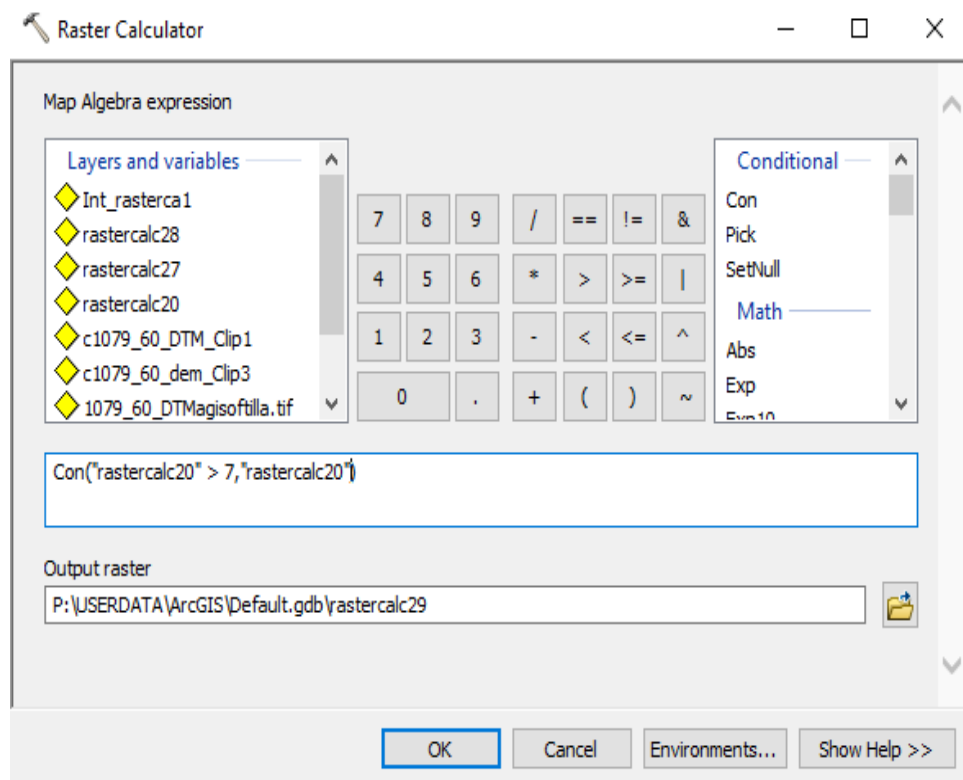
4.3 Puuston pituuksien vertailu.

Valmiita työkaluja puuston keskipituuden laskemiseksi pintamalleista ei ole, joten opinnäytetyössä kokeiltiin erilaisia menetelmiä. Sekä Agisoftista, että Arcmapista löytyy mittaustyökalu manuaaliseen mittaamiseen, mutta tämä on käyttöä ajatellen kankea, eikä menetelmää voida siirtää laajemmalle alueelle käyttömenetelmäksi (kuva 30, s. 41).



Kuva 30. Satunnaisella otannalla valitun puun pituuden mittaaminen mitaustyökalulla Agisoft-ohjelmassa (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Puuston keskipituutta lähdettiin selvittämään laskemalla korkeimmille pisteille painotettu keskiarvo. Luoduissa malleissa pisteet painottuvat lähes poikkeuksetta ääripäihin; puuston latvustoon ja maanpintaan. Luoduista puuston korkeusmalleista rajattiin pois kaikki alle 7 metrin korkeuspisteet raster calculator -työkalun ehtolausekkeella (kuva 31, s. 42). Täten malleista saadaan rajattua pois kaikki maapisteet ja pienet puut, jotka eivät sisällä ainespuuta.



Kuva 31. Raster calculator -työkalulla luotu ehtolauseke, jolla halutusta mallista saadaan rajattua vain korkeimmat vastinpisteet (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Lukujen ulossaamiseksi saadulle tasolle pitää luoda ominaisuustietotaulukko (raster attribute table) sille tarkoitetulla työkalulla. Työkalu ei kuitenkaan toimi, jos tason luvut eivät ole muunnettu kokonaisluvuiksi. Tulosten tarkkuuden parantamiseksi tasojen korkeudet muunnettiin ennen tätä toimenpidettä metreistä millimetreiksi kertomalla luvut 1 000:lla. Muunnetut korkeudet muutetaan järjestelmällisesti korkeusluvuiksi Spatial Analyst -laajennuksen Int-työkalulla (Integer). Jokaiselle mallille luodaan ominaisuustietotaulukko Build raster attribute table -työkalulla, josta voidaan tarkastella, kuinka paljon kutakin korkeutta edustavaa vastin pistettä mallissa esiintyy, kuten kuvassa 32 (s. 43).

OBJECTID	Value	Count
1	7000	5
2	7001	3
3	7002	3
4	7003	5
5	7004	4
6	7005	2
7	7006	4
8	7007	3
9	7008	2
10	7009	2
11	7010	2
12	7011	1
13	7012	3
14	7013	2
15	7014	4
16	7015	5
17	7016	3
18	7017	1
19	7018	1
20	7019	2
21	7021	1
22	7022	2
23	7025	5
24	7026	3
25	7027	2
26	7028	3
27	7030	2
28	7032	4
29	7035	2
30	7036	4
31	7037	2
32	7038	3
33	7039	2
34	7040	1
35	7041	2
36	7042	3
37	7043	1
38	7044	2
39	7045	3

Kuva 32. Rajatulle tasolle luotu ominaisuustietotaulukko, missä näkyy kutakin korkeutta edustavien vastinpisteiden lukumäärä millimetreissä. Esimerkiksi tasan 7 metrin korkeudelta saatua vastinpitettä on esimerkin mallissa 5 kappaletta. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Korkeustiedot siirretään Arcmapista Exceliin ominaisuustietotaulukon asetuksien Export Data -kohdasta, mikä luo pistetiedoista Excelillä luettavan tiedoston. Excelissä korkeudet muunnetaan takaisin metreiksi ja korkeuksille lasketaan painotettu keskiarvo (kuva 33, s. 44).

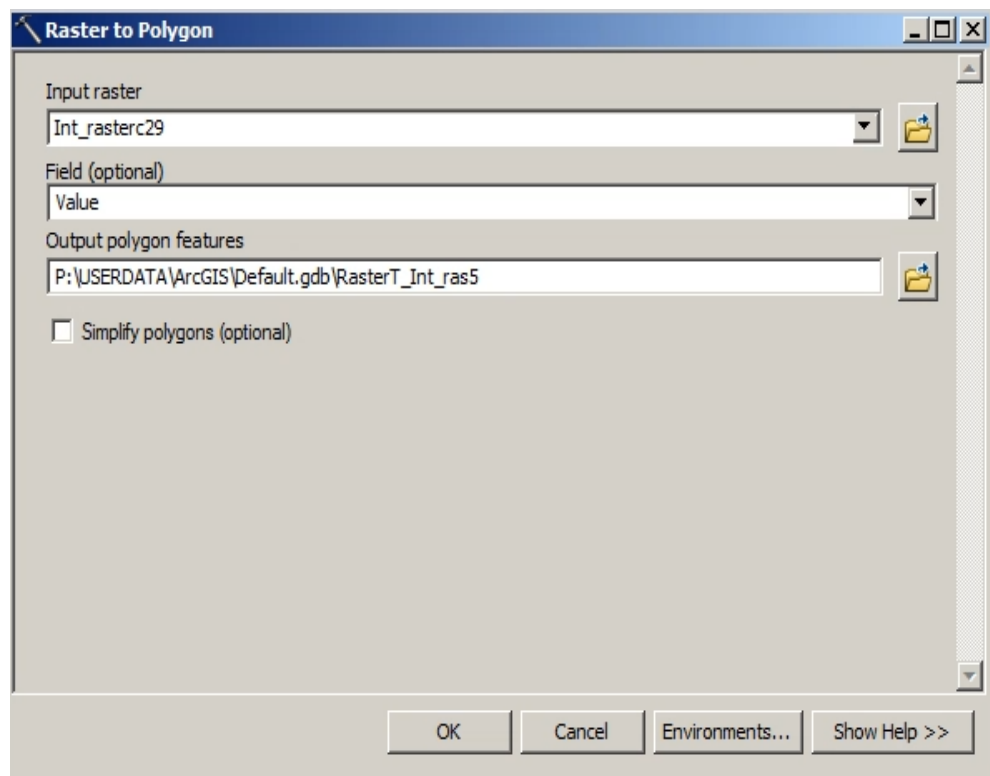
OBJECTID	Value	Count			
11403	24853	1,000000000000	24,853	24,853	
11404	24977	1,000000000000	24,977	24,977	
11405	24982	1,000000000000	24,982	24,982	
11406	25088	1,000000000000	25,088	25,088	
11407	25270	1,000000000000	25,27	25,27	
11408	25351	1,000000000000	25,351	25,351	
11409	25494	1,000000000000	25,494	25,494	
		30491,000000000000		522388,7	17,13255

Kuva 33. Excelissä laskettu painotettu keskiarvo. Count-pylvään summa on vastinpisteiden lukumäärä koealalta, jolla jaetaan pituuksien summa. Esimerkin painotettu keskiarvo yli seitsemän metrin korkeudelta saaduilta vastinpisteiltä on 17,13 metriä. (kuva: Antti-roiko & Luumi 2017.)

Helsingin yliopiston 32 m x 32 m -suuruisilla koealoilla jokainen puu on kuvattu erikseen. Koealoille laskettiin puutietojen pohjalta painotettu keskiarvo, johon pystyttiin vertaamaan RPAS-järjestelmän tuloksia.

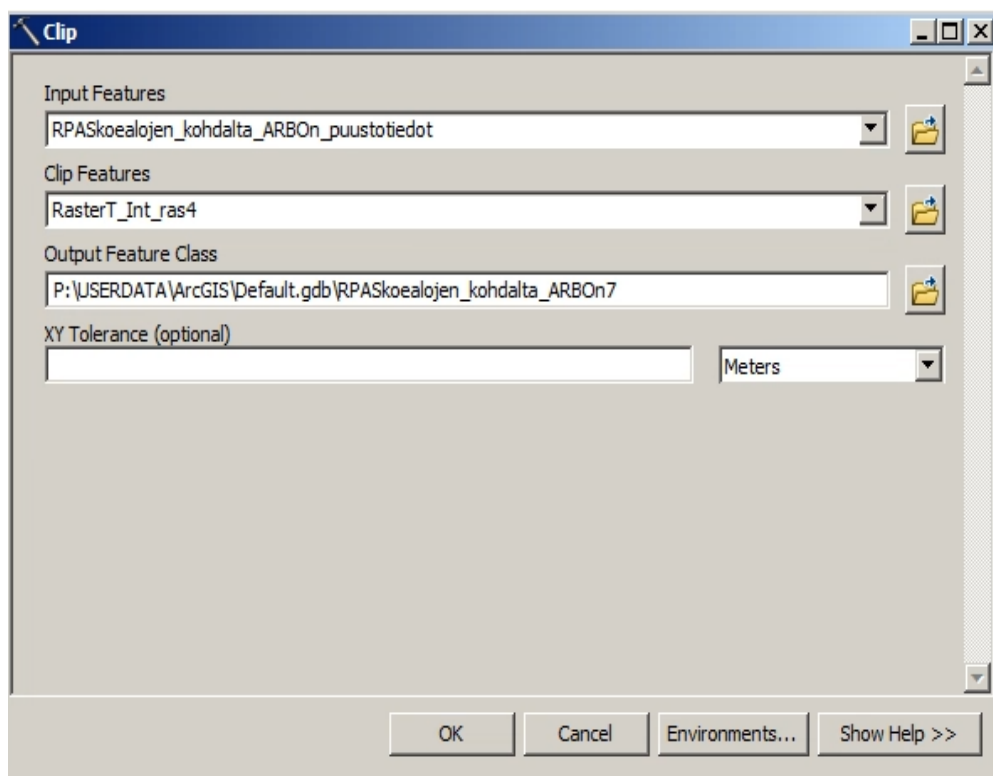
HY:n koealatietojen lisäksi tutkimukseen haluttiin mukaan myös laserkeilausdatasta tulkittu puustotieto koealojen kohdalta ja täten selvittää, tuoko RPAS-järjestelmä merkittävää lisäarvoa juuri tulosten tarkkuuksissa laajaan laserkeilausaineistoon verrattuna. Tutkimukseen saatiin Arbonautin vuonna 2015 tulkitsema metsävaratieto vuoden 2014 laserkeilauksista.

Tulkittu laserkeilausaineisto Evon opetusmetsän alueelta oli saatavana vektorimuotoisena tasona, joka liitettiin jokaisen koealan Arcmap-projektiin. Tulosten saamiseksi juuri haluttujen koealojen kohdalta vektorimuotoinen taso piti leikata jokaisella tutkimuskoealalla erikseen. Koealat ovat kuitenkin Arcmapissa rasterimuotoisia aineistoja, eikä näiden eri tasomuotojen käyttäminen leikkaustyökalussa samanaikaisesti onnistu, joten koealat oli ensiksi muutettava vektorimuotoon. Tämä onnistuu ohjelmassa Raster to polygon -työkalulla (kuva 34, s. 45).



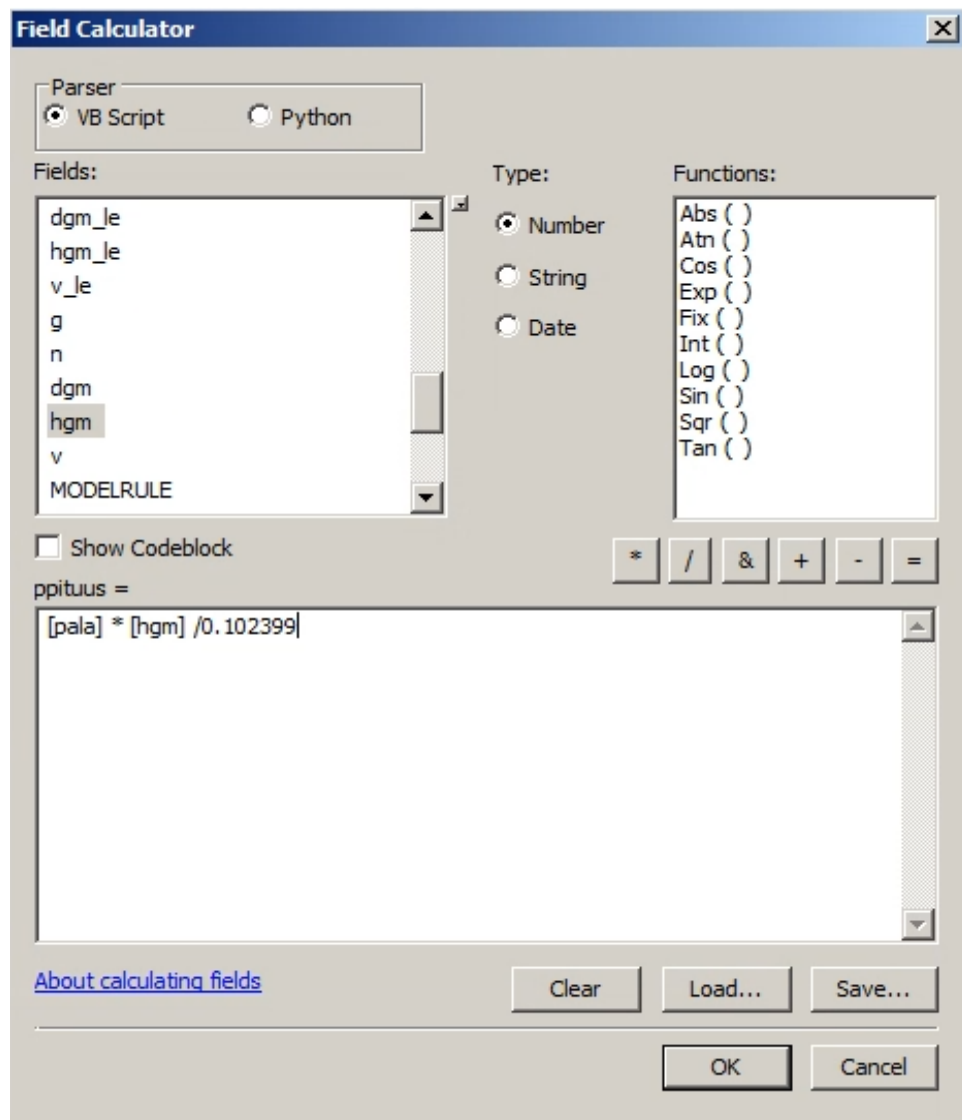
Kuva 34. Rasterimuotoisen tason muuttaminen vektoritasoksi (kuva: Ant-tiroiko & Luumi 2017).

Tämän jälkeen laserkeilausaineiston taso pystyttiin leikkaamaan koealojen kohdalta Geoprocessing-valikon Clip-työkalulla, joka on tarkoitettu vektorimuotoisten tasojen leikkaamiseen (kuva 35, s. 46).



Kuva 35. Vektorimuotoisen tason leikkaaminen Arcmap-ohjelmassa (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Leikatun tason ominaisuustietotauluun luodaan kaksi uutta saraketta (pinta-ala ja painotettu pituus) painotetun puuston pituuden saamiseksi. Molemmat sarakkeet luodaan Table options -valikon Add Field -kohdasta, jossa sarakkeelle syötetään nimi ja tässä tapauksessa sarakkeen tyyppiä laitetaan Float. Jokaiselle koealalla sijaitsevalle hilaruudulle saadaan laskettua painotettu pituus Field Calculator -työkalulla, jossa pinta-ala kerrotaan pohjapinta-alalla painotetulla keskipituudella, ja vastaus jaetaan koko koealan pinta-alalla (kuva 36, s. 47).



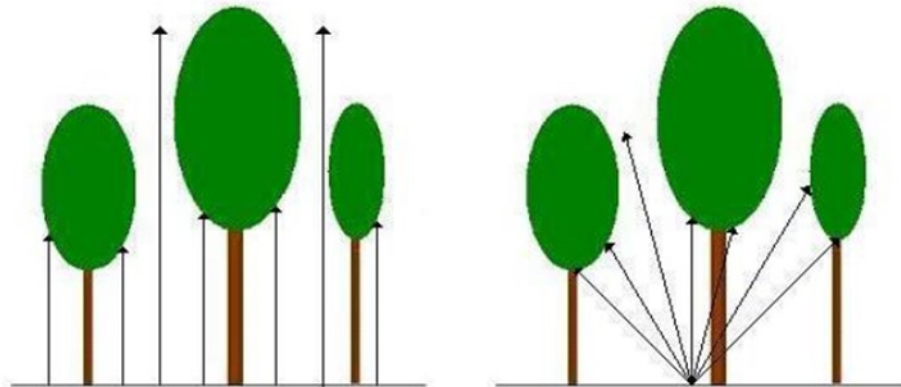
Kuva 36. Painotetun pituuden laskeminen Field Calculator -työkalussa, missä hgm tarkoittaa puuston pohjapinta-alalla painotettua pituustietoa ja 0,102399 on 32 m x 32 m -suuruisen koealan pinta-ala hehtaareissa (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Työkalusta saadaan painotettu pituus jokaiselle koealan kohdalla sijaitsevalle hilaruudulle, joiden summa on koko koealan painotettu puustonpituus. Tulosten summaaminen onnistuu nopeiten ja helpoiten viemällä ominaisuustietotaulukko Exceliin Export-valikon kautta.

4.4 Puuston latvuspeittävyyden määrittäminen

Metsän latvuspeitto on metsänarvioinnissa käytettävä määre, jolla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon puiden latvukset peittävät maanpinnasta ja se ilmoitetaan täsmällisesti prosenttiosuutena. Manuaalisesti mitattaessa latvuspeittävyys lasketaan jakamalla latvusten peittämä pinta-ala tarkasteltavan alueen pinta-alalla. Tässä työssä latvuspeittävyys laskettiin ilmakuvista saaduista pisteistä, joten menetelmä oli teknisesti ottaen sama,

mutta aineisto oli hieman tavanomaisesta poikkeava. Latvuspeittävyttä ei kuitenkaan pidä sekoittaa ns. latvussulkeutumaan, joka tarkoittaa sitä osuutta, jonka latvusto peittää taivaasta. Toisin kuin latvuspeitto, latvussulkeutuma havainnoidaan vain yhdestä pisteestä (Kuva 37). (Korhonen 2006, 7-8.)



Kuva 37. Vasemmalla kuvattuna latvuspeittävyysmittaaminen ja oikealla latvussulkeutuma (Korhonen 2006).

Latvuspeittävyysmittaaminen on sikäli hankalaa, koska siihen ei ole räätälöityjä työkaluja vaan erilaisia menetelmiä piti kokeilla työn aikana. Latvuspeittävyttä käytetään nykyäänkin visuaaliseen esitarkasteluun, mutta se ei ole erityisen tieteellinen menetelmä. Sillä voidaan kyllä saada raaka arvio toimenpidetarpeesta, mutta mitään numeerisia arvoja pelkästä ilmakuvasta ei saada. Tutkimuksessa toimivaksi menetelmäksi havaittiin rasteriaineiston pikselien tarkastelu. Tämä toteutettiin poistamalla puuston latvusmallista (CHM) kaikki alle seitsemän (7) metrin korkeudelta saadut pikselit, eli maapisteen ja ei aineispuuta sisältävien puiden pisteet. Perusideana menetelmässä on, että hoidetussa kohteessa pikselien määrä putoaa rajusti maanpinnan ollessa näkyvissä ja jokaisen puun latvusto on lähtökohtaisesti eroteltavissa. Hoitamattomalla kohteella latvusto on yhtenäisempi matto ja maanpinnasta tulee huomattavasti vähemmän pisteitä.

Latvuspeittävyys jätettiin taimikoista kokonaan pois koska saatavilla olevissa koealoissa ei ollut ainuttakaan taimikkokohdetta vaan niitä olisi pitänyt erikseen perustaa. Taimikoista ei myöskään tule harvennusten ja raivausten tuotteena ainespuuta vaan raivatut taimet jäävät suurimmassa osassa tapauksista maastoon lahoamaan. Se on ravinteiden säilymisen kannalta toimiva ratkaisu mutta tähän työhön sitä ei ole järkevää ottaa mukaan. Lennetyillä Helsingin yliopiston koealoilla ei ole hyviä vastinpareja myöskään nuoremmille kehitysluokille (02), vaan kohteet painottuvat valtaosin uudistuskypsiin metsiin.

Menetelmä toteutettiin samalla tavalla kuin puuston pituuden tarkastelu. Latvusmalleista (CHM) tuotettiin Excel-tiedostot, joiden avulla voitiin tar-

kastella, kuinka paljon pikseleiden määrä muuttuu, kun mallista suodataan pois alle seitsemän (7) metrin korkeudelta saadut pikselit. Ensimmäiseksi latvusmallista rajattiin alle seitsemän (7) metrin korkeudesta saadut pisteet Raster Calculator-työkalulla (Kuva 31, s. 42). Tämän jälkeen ominaisuustiedot siirrettiin Exceliin ja niistä laskettiin vastinpisteiden kokonaismäärä (Kuva 33, s. 44). Lopuksi vielä saatuja pistemääriä verrattiin suodattamattomasta latvusmallista saatuun pistemäärään ja siitä laskettiin täsmällinen prosenttiluku (Kaava 1).

$$C = A \times 100 / B \quad (1)$$

C = Ainespuupisteet

A = Maapisteet

B = Kaikki pisteet

5 TUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYSOINTI

5.1 Puuston pituuden tulokset

Eri lentokorkeuksilta saatuja pituusestimaatteja sekä laserkeilausaineistosta tulkittua pituustietoa verrattiin tilastollisin menetelmin Helsingin yliopiston koealojen tietoihin (kuva 38).

Taulukossa jokaisella koealalla on eri lentokorkeudelta saatu pituusestimaatti. Eri lentokorkeuksista saatuja tuloksia, sekä metsävaratiedoista poimittuja arvoja verrattiin Helsingin Yliopiston maastomittauksiin laskemalla erojen keskineliövirheitä (RMSE), sekä mallien antamien arvojen ja mitattujen arvojen välistä harhaa (kaavat 2 & 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (3)$$

y_i = muuttujan y mitattu arvo kuviolla i

\hat{y}_i = muuttujan y estimoitu arvo kuviolla i

n = kuvioden lukumäärä

	1058-1062	2100	1079	1037	1004	RMSE	BIAS
Helsingin yliopiston koealatiedot	21,21919	22,15581	11,9459	13,83936	17,51552		
Laserkeilausdata	29,64932	20,490745	11,405437	15,944889	18,26042	3,977933	1,815006
40 (m)	-	9,526393	9,924794	11,90224	13,60073	6,757682	-5,1256
60 (m)	13,49101	12,96533	10,21341	14,21692	15,34136	5,514721	-4,08956
80 (m)	18,55411	15,0125	10,10846	13,99584	15,89968	3,581652	-2,62104
100 (m)	21,06511	17,13255	10,03816	13,95027	15,9459	2,50489	-1,708758

Kuva 38. Eri lentokorkeuksien, sekä metsävaratiedosta saatujen pituusestimaattien vertailu koealatietoihin (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017).

Tuloksissa kuviot 1058-1062 ovat tuohimetsän alueella sijaitseva neljän 04-kehitysluokan koealan ryhmä, joka lennettiin ja käsiteltiin yhtenä kohteena. Saaduista tuloksista voidaan todeta, että RPAS-järjestelmästä saatu pituusestimaatti on menetelmästä johtuen aina aliarvio.

Tulosten pohjalta RPAS-järjestelmän pituustietojen harha referenssikoealojen tietoihin pienenee korkeuden noustessa. 40 metrissä RPAS:n tulosten harha on keskimäärin yli 5 metrin aliarvio ja 100 metrissä enää 1,7 metriä. Täten voidaan tehdä johtopäätös, että korkeammilla lentokorkeuksilla tulokset ovat lähtökohtaisesti tarkempia. Noin 12 metrisessä, tyypillisesti 02-kehitysluokkaa edustavassa puustossa ero eri lentokorkeuksien välillä oli varsin pieni. Korkeapuustoisilla kohteilla tarkkuusero 40 metrin ja 100 metrin välillä oli merkittävän suuri, mikä todennäköisesti johtuu kameran

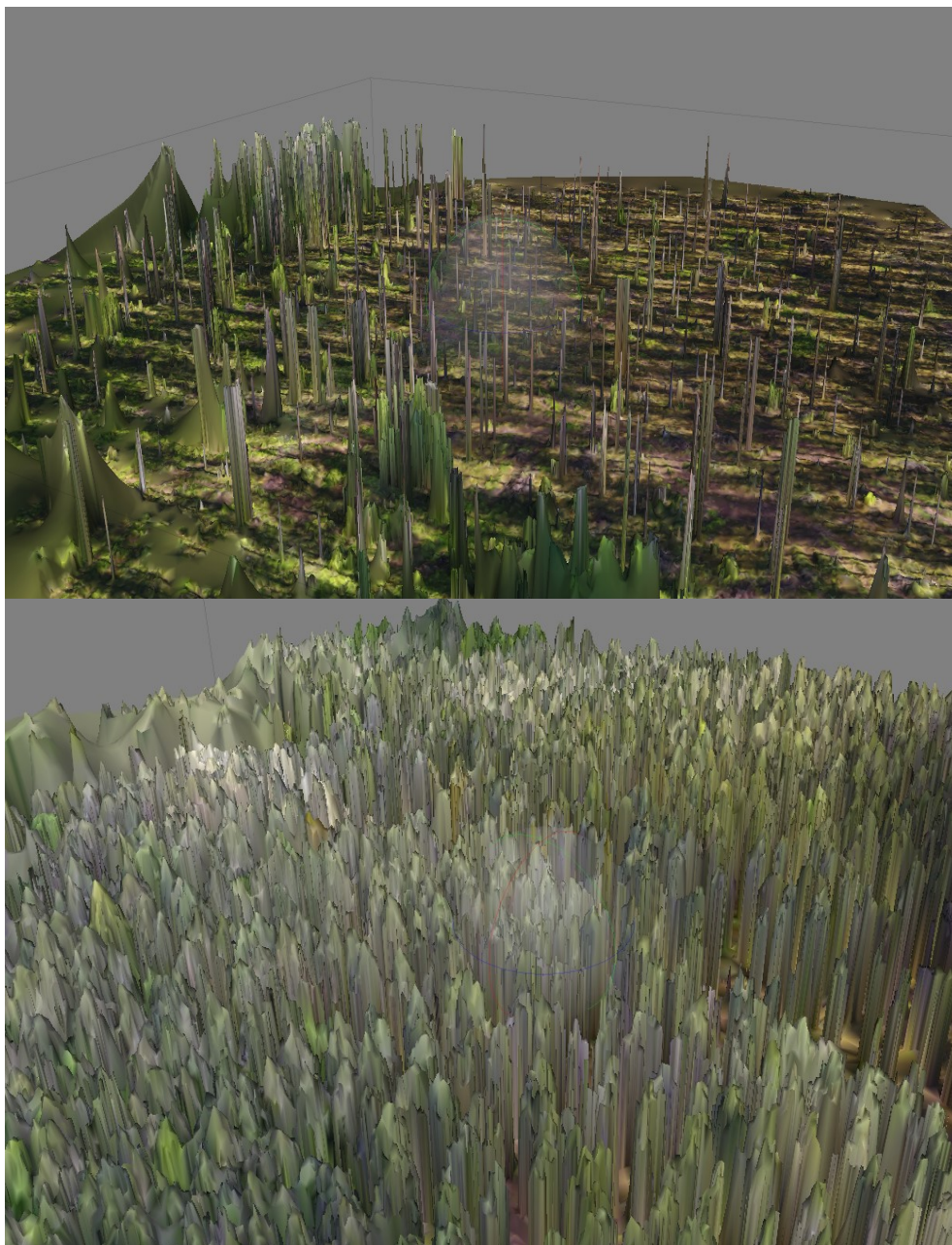
tarkentavan pääasiassa maanpintaa puiden latvusten ollessa varsin lähellä kameraa (kuva 39).



Kuva 39. Lento 04-kehitysluokan puustossa 40 metristä. Puustojen latvusto on liian lähellä kameraa hyvän kuvaustuloksen saamiseksi ja vastinpisteitä ei tule riittävästi yhtenäisen mallin luomiseksi. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Saadut mittaustulokset edustavat lähinnä vain yhden harrastekäyttöön suunnatun laitteen tarkkuutta metsätalouskäyttöä ajatellen, eivätkä tulokset ole automaattisesti vertailukelpoisia muiden RPAS-järjestelmien kanssa. Puustoa mitatessa päästiin parhaimmillaan jopa 12 cm mittaustarkkuuteen.

Visuaalisella tarkastelulla pystyy usein saamaan hyvän käsityksen, minkälainen lentokorkeus sopii hyvin eri tilanteisiin (kuva 40, s. 52). Korkeimpien lentokorkeuksien parhaiten soveltuvuutta esimerkiksi laajempaan käyttöön tukee saadut mittaustulokset, sekä työn tuottavuus.



Kuva 40. Eri lentokorkeuksien vertailu 04-kehitysluokan puustossa. Kuvassa ylempänä 40 metrin korkeudelta suoritettu lento, jolta puusto ei mallinnu lainkaan todellisesti ja tuloksesta tulee aukokoinen. Tulos parani hieman korkeuden noustessa, mutta suurin parannus tuli vasta siirryttäessä 80 metristä 100 metriin, joka on kuvassa alempana. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Kokonaisuudessaan saatujen tulosten pohjalta korkeimmat lentokorkeudet soveltuvat metsätalouskäyttöä ajatellen parhaiten. Työn tuottavuus on korkeammilla lentokorkeuksilla merkittävästi parempi ja kameroiden kehittyessä jokaiselta kuvalta voidaan erotella entistä enemmän vastinpitteitä, mikä parantaa korkeammalla lentämisen edellytyksiä. Kuvan 40 esi-

merkkikoealassa 2100, eli noin 22 metrisessä puustossa 40 metrin lento-
korkeudelta tuli kuvia yhteensä 209 kappaletta ja 100 metristä vain 39 eli
alle viidesosa. Itse lentoaika oli 100 metrissä myös vain puolet 40 metrin
lentoajasta ja kuvien analysointiin ja jatkojalostamiseen kuluva aika oli
noin viisinkertainen 40 metristä.

Kuviolla 1079, eli noin 12 metrisessä puustossa visuaalinen ero ääripäiden
välillä ei ollut yhtä hurjaa kuin korkeapuustoisemmilla kohteilla. 60 met-
ristä saatu visuaalinen tulos oli jonkin verran selkeämpi 100 metriin verrat-
tuna, mutta 100 metrin tuloksen huonompaa laatua todennäköisesti selit-
tää sään nopea kirkastuminen lennon aikana (kuva 41, s. 54).



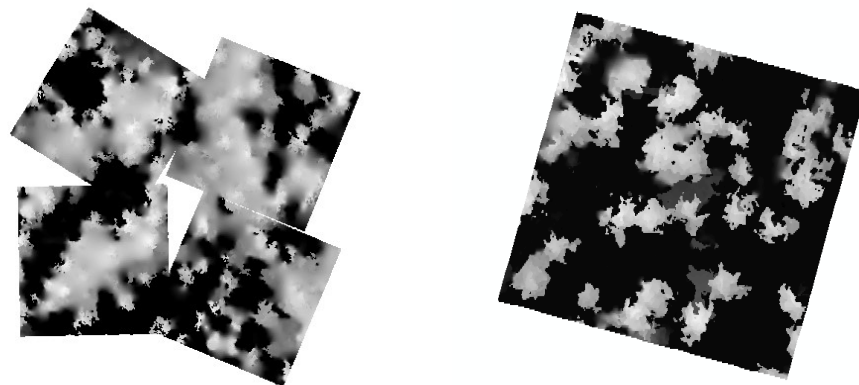
Kuva 41. 60 metrin lentokorkeudesta saadun visuaalisen mallin vertailu 100 metrin tulokseen n. 12 metrisessä puustossa. Alemmassa kuvassa eli 100 metrissä puuston pieni aukkoisuus todennäköisesti selittyy sään nopealla kirkastumisella, mikä heikentää kuvien laatua. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Tuottavuutta ajatellen matalaa 40 metrin lentokorkeutta ei voi kuvailla millään tavalla järkeväksi, vaan on varteenotettava korkeus korkeintaan

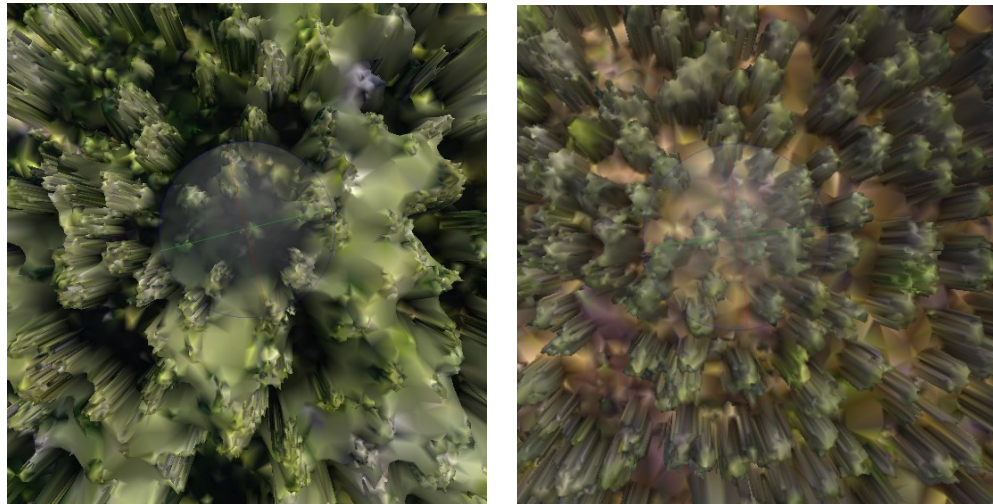
taimikoiden lähitarkastuksissa. 40 metriä on turvallisuuden kannalta myös nopeasti vaarallinen mäkisillä kohteilla.

5.2 Puuston latvuspeittävyden tulokset

Puuston latvuspeittävyden vertailu tehtiin pituustutkimuksessa parhaaksi todetuilta lentokorkeuksilta, mikä oli molemmilla kehitysluokilla (03, 04) sata (100) metriä. Nuoresta kasvatusmetsästä (02) ei löytynyt kelpollista vastinparia hoidetulle kohteelle (ensiharvennuksen tarpeessa oleva metsikkö), joten se jätettiin kokonaan pois. Hoitamattomassa ja uudistuskypsän metsän kriteerit täyttävässä metsässä (1061, 1062, 1058, 1059) 64,23 % vastinpisteistä, eli noin 2/3 jäi puuston latvuksiin, kun taas hoidetussa metsässä (2100) vain 32,42 % (1/3) vastinpisteistä jäi latvustoon. Hoitamattomassakin metsässä suurin syy suurelle maapistemäärälle on suuri aukkoisuus puustossa (kuva 42). Mikäli tuohimetsän puusto olisi yhtä tasainen kuin koealalla 2100, olisi latvusmallikin paljon yhtenäisempi. Tähän tietysti vaikuttaa myös se, että hoitamattoman metsän (1061, 1062, 1058, 1059) alueelta on neljän koealan ryhmä, kun hoidettu koeala taas on yksittäinen. Kuvasta 42 näkyy hyvin, kuinka puuston tasaisuus vaihtelee paljon koealojen välillä. Kuvassa 43 (s. 53) verkkomainen malli korostaa erittäin tiheää latvustoa hyvin, missä monessa kohtaa maanpinnasta ei tule lainkaan vastinpisteitä.



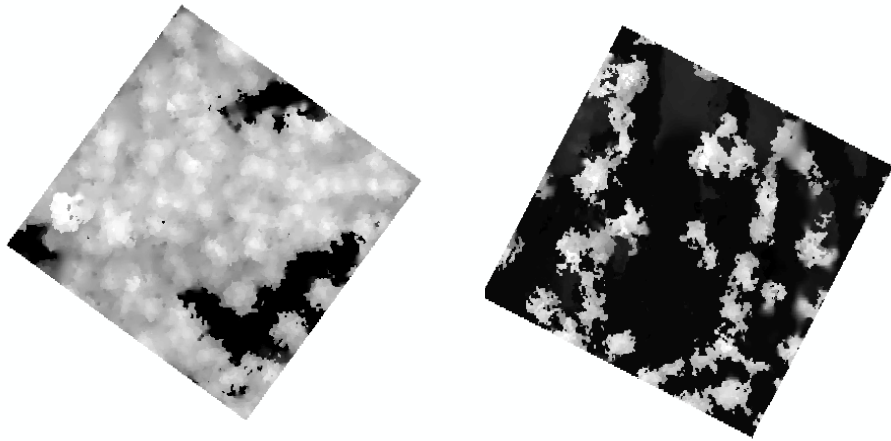
Kuva 42. Uudistuskypsän metsän (04) latvusmallit. Vasemmalla hoitamaton metsä (1061, 1062, 1058, 1059) ja oikealla hoidettu metsä (2100). Vaaleat kohdat ovat latvustoon jääneitä pisteitä. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)



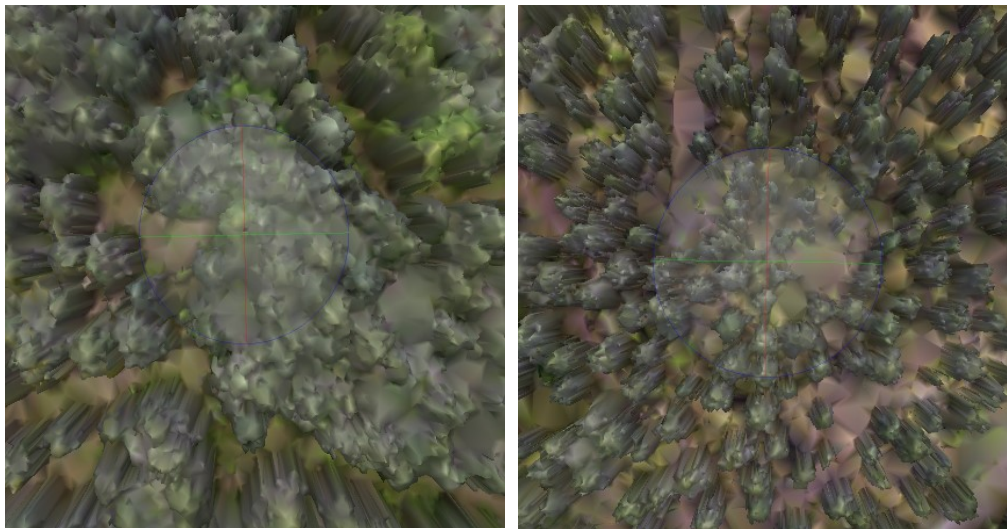
Kuva 43. Kuvankaappaus Agisoft-ohjelmasta. Verkkomallin (Mesh) seittimäinen muoto korostaa hyvin latvuksen sulkeutuneisuutta. Vasemmalla hoitamaton ja oikealla hoidettu, uudistuskypsä (04) metsä. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)

Varttuneessa kasvatusmetsässä tilanne on hyvin samansuuntainen. Hoitettun metsän (1004) latvusmallissa puiden latvuksiin ja ainespuuhun jäi 25,81 %, eli noin 1/4 vastinpisteistä. Hoitamattomalla koealalla (1037) vastaava luku oli 86,13 %, eli noin 5/6 vastinpisteistä osuu latvuksiin. Ero ei siis ole suuren suuri verrattuna ikääntyneeseen metsään. Nuoremmassa metsässä latvusto oli myös huomattavasti tasaisempaa kuin uudistuskypsässä metsässä. Etenkin hoitamattomalla alueella on paikoitellen isoja paljaita kohtia joissa ei ole ainespuuta (kuvat 44 ja 45, s. 57). Tähän tosin vaikuttaa sekä koealojen satunnaisuus, että luonnossa normaalisti esiintyvä satunnaisuus.

Saatujen tulosten perusteella voidaan sanoa, että mikäli latvusmassa peittää vähintään noin 66 % eli noin kaksi kolmasosaa (2/3) metsänpohjasta, on alueella todennäköisesti tarvetta tehdä jonkinlaisia metsänhoidollisia toimenpiteitä ja ainakin maastokäynti varsinaisen tarpeen varmistamiseksi kannattaa tehdä. Vertailukelpoisten vastinparien puutteen vuoksi latvuspeittävyyden osalta tutkimus jää todella suppeaksi ja siitä ei voi tehdä mitenkään erityisen laajoja yleistyksiä.



Kuva 44. Latvusmallit varttuneesta kasvatusmetsästä. Vasemmalla hoitamaton (1037) ja oikealla hoidettu (1004) metsä. (kuva: Anttiroiko & Luumi 2017.)



Kuva 45. Agisoft-kuvankaappaus varttuneesta kasvatusmetsästä. Vasemmalla hoitamaton (1037) ja oikealla hoidettu metsä (1004). (kuva: Anttiroiko & Luumi.)

6 POHDINTA

Kokonaisuudessaan RPAS-aiheinen opinnäytetyö oli tekijöille positiivinen kokemus. Työn aikana oli mahdollista soveltaa paljon kurssiopetuksesta saatua tietoa ja oppia täysin uutta. Työ vaati paljon omatoimista syventymistä moniin asioihin, joita RPAS biotaloudessa -opintomoduulissa ja muissa opinnoissa raapaistiin vain pintapuolisesti. Kauko-ohjatut ilma-alukset ovat myös ajankohtainen aihe metsätalouden työkentillä niiden ollessa täysin uusi ja usein entuudestaan tuntematon apuväline alan toimijoille.

6.1 Laitteiston ja ohjelmistojen toimivuus

Lentokalusto toimi hyvin opinnäytetyön lento-osuutta tehtäessä, eikä aineiston tuottaminen RPAS-järjestelmällä ollut haastavaa. Pieniä asetuksia, kuten kameran suljinajan säätö, oli sellaisia, jotka piti tajuta ja oppia itse lentotyötä tehdessä, eikä laitteiston ohjeistus ollut aina riittävä parhaiden kuvien saamiseksi.

Aineistojen käsittely tietotekniikan avulla ei ollut niin helppoa kuin aluksi oletettiin. Itsestä riippumattomat vaikeudet tekivät aineiston käsittelystä usein hyvinkin haastavaa ja työtä oli käsiteltävä yrityksen ja erehdyksen kautta. Alkuvaiheessa eri asetusvaihtoehtoja testaillen yhden koealan analysoinnissa kului nopeasti viikko. Kauko-ohjatuilla ilma-aluksilla tehdään maailmanlaajuisesti paljon 3D-malleja ilmakuvista, mutta metsien mallintamiseen löytyy hyvin vähän tietoa ja sopivat asetukset oli pääteltävä itse. Agisoft osoittautui juuri näistä syistä pilvipalveluita paremmaksi aineiston prosessoinnissa monipuolisten asetusten ansiosta. Pilvipalvelut ovat vielä tässä vaiheessa rakennettu muita kohteita silmällä pitäen, ja taipuvat usein huonosti puuston mallintamiseen.

Tutkimuksessa käytetyn laitteen suurin pettymys oli järjestelmän ilmoittamien korkeuksien luotettavuus ilman ulkoista orientaatiota. Alle 1 500 euron hintaluokan RPAS-järjestelmän kylkeen toimija ei lähtökohtaisesti ole ostamassa 5 000 euron GPS-laitetta. Usein on kannattavampaa ostaa suoraan sellainen laitekokonaisuus, jossa saadut mallit ovat suoraan vertailukelpoisia avoimen datan kanssa ilman referenssipisteiden käyttöä lentojen alussa. GPS-laitteella mitattujen maastopisteiden käyttö myös hidastaa työtä merkittävästi.

6.2 Koealat

Helsingin yliopiston koealat soveltuivat tutkimusta varten odotettua huonommin. Käytettävissä olleista koealoista löytyi hyvät puustotiedot, mutta kohteet eivät olleet tutkimusta ajatellen riittävän monipuolisia. Koealat olivat suhteellisen samanlaisia, eikä hyviä vastinpareja latvuspeittävyden

tutkimista varten ollut riittävästi. Koealat painottuivat liikaa uudistuskypsiin (04) metsiin, eikä lennettyjen koealojen joukosta löytynyt kuin yksi nuorta kasvatusmetsää (02) edustava kuvio. Ensiharvennustarpeessa olevaa kohdetta ei ollut lainkaan, joten tätä kehitysluokkaa ei otettu mukaan latvuspeittävyuden tutkimiseen. Koealat painottuivat myös pääasiassa männiköihin, eikä eri puulajien vaikutuksia pystytty tuomaan esille. Evon alueella metsät eivät myöskään aina vastaa kovin hyvin suomalaisia talousmetsiä. Evon alueelta löytyy tavallista enemmän suojeltuja kohteita, sekä retkeilyn erityistarpeet on otettu metsäkäytössä huomioon. Tutkimuksesta olisi saatu paremmin irti, jos jo ennen lentotyötä aloittaessa olisi ollut riittävä määrä esivalittuja koealoista luotuja vastinpareja eri kehitysluokilta.

6.3 Tulevaisuuden näkymät metsätaloudessa

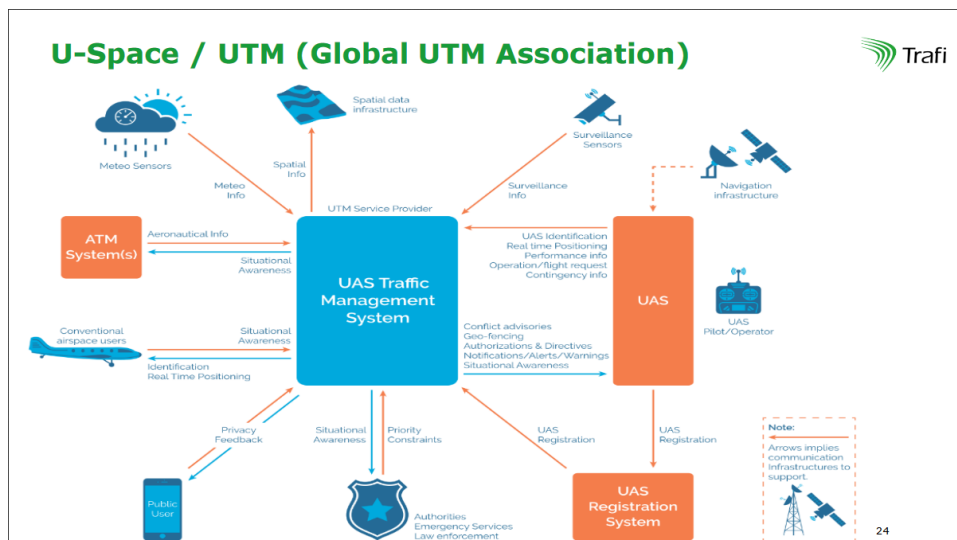
RPAS-järjestelmän sovellukset ovat tässä vaiheessa vielä pintaraapaisua sen mahdollisuuksista biotaloudessa ja käyttökohteita sekä mahdollisuuksia keksitään varmasti ajan kuluessa lukemattomasti enemmän. Tekniikan kehittyminen ja laitteiden halpeneminen takaavat niiden laajemman soveltamisen eri elämän aloilla tulevaisuudessa.

Oman tutkimuksemme johtopäätöksenä RPAS-järjestelmän ehdottomasti suurin etu metsätaloudessa vielä tässä vaiheessa on visuaalinen tarkastelu. RPAS-järjestelmille ja aineiston käsittelylle ei ole luotu riittävästi räätälöityjä työkaluja, joten kustannustehokkaiden tulosten saaminen on tässä vaiheessa vielä aivan liian kankeaa. Edulliset kauko-ohjatut ilma-alukset ja niiden kokonaisjärjestelmät voidaan vielä tässä vaiheessa nähdä hyvänä visuaalisena työkaluna metsätuhojen, taimikonhoitotöiden, korjuujäljen ym. nopeisiin tarkastuksiin ilmasta käsin. Ohjelmistojen kankeuden ja puutteellisuuden vuoksi tarkkojen puustotunnusten saaminen kustannustehokkaasti ilmakehuvausaineistoista on tässä vaiheessa vielä taloudellisesti kannattamatonta, mutta tilanne voi olla täysin toinen hyvinkin lyhyen ajan si-
sään.

Vaikka Suomessa on edelleen voimassa hyvinkin liberaali lainsäädäntö ilma-alusten suhteen, estää se silti vielä monella alalla ilma-alusten laajemman käytön työn apuvälineenä, joista suurin on näköyhteyden säilymisen edellytys laitteeseen, eikä tarkkailijoita käytettäessä saavuteta laitteesta riittävää taloudellista hyötyä. Metsätaloudessa lainsäädäntö lähes poikkeuksetta estää vähänkin isomman kokoisen metsätilan täyden kartoituslennon, sillä ilma-alus helposti katoaa näköyhteyden ulkopuolelle puuston taakse ja erillisen ilmatilan varaaminen BVLOS-lennon mahdollistamiseksi on liian kallis ja kankea prosessi ollakseen taloudellisesti kannattava. Lähi-tulevaisuudessa voimaantulevaksi suunniteltu U-space hanke voi olla yksi mahdollinen kanava metsä- ja luonnonvara-alan lentotehtävien kehityk-
sessä.

U-space on Euroopan unionin hanke ja sitä ollaan työstetty yhtä aikaa EASA:n lakipaketin kanssa. Se tulee voimaantullessaan mahdollistamaan erilaiset, hyvin pitkälle automatisoidut lentotehtävät. Sitä voidaan mahdollisesti myös hyödyntää metsätalouden piiriin osuvilla lentotehtävillä, kuten tilojen kartoituksilla, myrskytuhojen kartoituksilla sekä esimerkiksi tämän opinnäytetyön kaltaisilla selvityslennoilla. Lakipaketti luo pohjan U-spacen käyttöönotolle ja sitä ollaan myös ottamassa käyttöön yhtä aikaa uusien säännösten kanssa. U-space on pilvipalveluihin vahvasti nojaava palveluverkosto, jonka tavoitteena on taata turvallinen, tehokas ja varma toiminta ilmatilassa suurelle määrälle miehittämättömiä ilma-aluksia (Kuva 46, s. 61). Sen peruseräpäätteitä ovat esimerkiksi taata ilmatilan käyttäjien turvallisuus niin ilmassa kuin maassakin, tarjota joustava ja luotettava järjestelmä joka voi vastata tehokkaasti ilmeneviin haasteisiin, minimoida kustannuksia ja mahdollistaa mahdollisimman reilu pääsy ilmatilaan kaikille käyttäjille. Se tulee myös olemaan iso tekijä tulevaisuuden BVLOS-tehtävien osalta. (SESAR Joint Undertaking, 2017.)

U-spacen toiminta perustuu monien eri järjestelmien yhteiseen kommunikointiin ja laitteiston kehittyessä ja järjestelmien automatisoituessa RPAS-järjestelmät voivat entistä vapaammin tehdä itsenäisiä lentotehtäviä. Esimerkiksi pakettien kuljettaminen useiden kymmenien kilometrien päähän. Operaattori valitsee tehtävään sopivan laitteen ja valvojan, joka ei itse lennä laitetta, mutta valvoo sen toimintaa. Asettaa koneelle parametrit joiden pohjalta U-space selvittää parhaan reitin laitteelle, ottaen huomioon muun muassa lentokieltoalueet, muun ilmaliikenteen ja säätilan. Mikäli tehtävä vaatii erillisen hyväksynnän niin järjestelmä lähettää myös lupa-anomuksen tarvittaville instansseille ja vastaus toimitetaan operaattorille. Kun RPA on ilmassa se saa reaaliaikaista tietoa muusta ilmaliikenteestä ja väistää tarvittaessa, lisäksi se lähettäisi omaa tunnistettaan, jolloin sen reaaliaikainen seuraaminen olisi varsin helppoa ja mahdollistaa esimerkiksi poliisin tilannetietoisuuden säilymisen ilmatilasta. U-space on tarkoitus ottaa käyttöön asteittain yhdessä EASA:n lakipaketin kanssa ja sitä on tarkoitus laajentaa sitä mukaa kun RPAS-järjestelmien autonomisuus kehittyy. (SESAR Joint Undertaking 2017.)



Kuva 46. U-spacen eri osa-alueet (Trafli 2017b).

6.4 Jatkoehdotuksia

Jatkotutkimuksena voisi tehdä esimerkiksi vertailua siitä, miten alueen määkisyys vaikuttaa RPAS-järjestelmillä saatujen aineistojen luotettavuuteen. Tässä työssä käytetyt koealat olivat lähtökohtaisesti pieniä ja sijaitsivat tasaisilla alueilla. Myös latvuspeittävyttä voisi tutkia monipuolisemmin etsimällä koealoja joissa on selkeitä vastinpareja hoidetun ja hoitamattoman metsän välillä ja joissa tulisivat myös puulajien tuomat erot paremmin esille. RPAS on suhteellisen uusi työkalu millä tahansa alalla, joten sen käyttömahdollisuuksia ei vielä tarkasti tunneta, joten aiheesta on helppo keksiä aiheita opinnäytetöihin tai pro gradu -tutkielmiin.

Lisäksi muuttuva lainsäädäntö ja alati kehittyvä tekniikka mahdollistavat yhä uusien käyttökohteiden kehittymisen. Euroopan unionin sisäinen lainsäädäntö tulee muuttamaan toimintaympäristöä paljon ja sen tiimoilta voisikin esimerkiksi tutkia, miten se vaikuttaa RPAS-laitteiden käyttöön metsäalalla. Se tulee kuitenkin aiheelliseksi aikaisintaan vuonna 2019.

Hyvä aihe jatkotutkimukselle voisi olla myös kahden eri valmistajan laitteiden vertailu keskenään, tuoko selvästi kalliimpi, esimerkiksi lähes 20 000 euron arvoinen RPAS-järjestelmä merkittävää lisäarvoa tutkimuksessa käytettyyn noin 1 500 euron arvoiseen laitekokonaisuuteen verrattuna. Saako esimerkiksi kalliimmalla laitteella tuotettua huomattavasti tarkempaa visuaalista aineistoa, joka perustelisi huomattavasti kalliimman investoinnin kannattavaksi? Tai onko kalliimmassa laitteessa toimiva GPS-järjestelmä, jonka avulla saadut mallit ovat suoraan vertailukelpoisia avoimen paikkatietoaineiston kanssa ilman ulkoista orientointia.

LÄHTEET

Air Navigation Services Finland Oy. (2017). *Suomen ilmailukäsikirja (AIP)*. Viitattu 15.10.2017 <https://ais.fi/ais/eaip/fi/>

Agisoft LLC. (2017). Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.3. Haettu 16.9.2017 http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf

Auvinen, P., Pukkala, T. & Vesa, L. (1997). *Metsän kartoitus*.

DJI Phantom 4 (n.d.). Viitattu 20.8.2017 <https://www.dji.com/phantom-4>

EASA. (2017). Notice of Proposed Amendment (NPA) 2017 – 05 (A). Viitattu 23.11.2017. https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/NPA%202017-05%20%28A%29_0.pdf

Hassinen, A. (2013). *UAV-lennokit, kokemuksia UAV-laitteista*. Mekrijärven tutkimusasema, Itä-Suomen yliopisto

Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. (2013). *Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa*.

Ilmailulaki 864/2014. Viitattu 24.11.2017 <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>

Kallioinen, V. & Laaksonen, L. (2016). *Metsän UAV-ilmakuvaus – Toteutus ja pintamallien laatiminen*. Opinnäytetyö. Metsätalous. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.11.2017 <http://www.theseus.fi/handle/10024/106910>

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M. & Maltamo, M. (2011). *Metsän mittaaminen ja kartoitus*. Silva Carelica 40. 3. uud. p.

Korhonen, L. (2006). *Havumetsän latvuspeiton mittaaminen ja ennustaminen puustotunnuksista*.

Lauk, E., Uskali, T. & Kuutti, H. (2016). *Droonijournalismi: kauko-ohjattavien kamerakopterien toimituskäyttö*. Viitattu 24.11.2017 <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/51821>

Li, W., Niu, Z., Chen, H., Li, D., Wu, M. & Zhao, W. (2016). *Remote estimation of canopy height and aboveground biomass of maize using high-resolution stereo images from a low-cost unmanned aerial vehicle system*.

Lientola, E. (2017). *Kauko-ohjatut ilma-alukset luonnonvara-alalla: Tutkimus käyttömahdollisuuksista, tekniikan tarjoamista vaihtoehtoisista ja käyttöön liittyvistä osaamistarpeista*. Opinnäytetyö. Biotalousliiketoiminnan kehittäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 15.11.2017 <http://www.theseus.fi/handle/10024/133977>

Liikenne- ja viestintäministeriö. (2017). *Sääntelyn tasot*. Viitattu 23.11.2017 http://www.lentoposti.fi/uutiset/lvmlt_miehittamailun_sntely_koskeva_kuulemistilaisuus_live_hetkyksen

Luhmann, T., Robson, S. & Kyle, S. (2014). *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications*.

MAVinci SIRIUS PRO Surveying UAS (n.d.) Viitattu 20.8.2017 <http://www.mavinci.de/pro-version/>

Matthews N. A. (2008). Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology. Viitattu 6.10.2017. <https://www.blm.gov/nstc/library/pdf/TN428.pdf>

Natural Resources Canada. (2015). Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing. Haettu 28.11.2017 <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14639>

Nieminen, A. (2012). *Laserkeilauksella ja UAV-ilmakuvauksella tuotetun puustotiedon vertailu*. Opinnäytetyö. Metsätalouden koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Oxford Dictionary (n.d.) Motion blur. Viitattu 26.10.2017 https://en.oxforddictionaries.com/definition/motion_blur

Puuntuottaja. (2012). *Laserkeilausaineiston hyödyntäminen metsätaloudessa*. Viitattu 24.9.2017 <http://www.puuntuottaja.com/laserkeilausaineiston-hyodyntaminen-metsataloudessa/>

Rikoslaki 1889/39. Viitattu 24.11.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1889/18890039001#L25>

SESAR Joint Undertaking. (2017). U-space blueprint. Viitattu 23.11.2017. <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint.pdf>

Techtarget. (2016). Geofencing. Viitattu 23.11.2017 <http://whatis.techtarget.com/definition/geofencing>

Tokola, T., Hyyppänen, H., Miina, S., Vesa, L. & Anttila, P. (1998). *Metsän kaukokartoitus*. Silva Carelica 32.

Trafi. (2016a). *Määräys OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennon lennättäminen*. Viitattu 16.8.2017. https://www.trafi.fi/file-bank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf

Trafi. (2016b). *ASM-Toimintakäsikirja Ilmatilan joustavan käytön menetelmät*. Viitattu 7.10.2017. https://www.trafi.fi/file-bank/a/1478763420/8d90860470f2d078ffc2099c9c466bf7/23008-ASM-Toimintakäsikirja_1.pdf

Trafi. (2017a). Poikkeusluvut ja ilmatilavaraukset. Viitattu 7.10.2017 https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/poikkeusluvut_ja_ilmatilavaraukset

Trafi. (2017b). UAS toiminta Suomessa. Viitattu 23.11.2017 https://www.trafi.fi/file-bank/a/1510239415/a90264050b99e89857fcd8c6092fe7cf/28280-Hanola_Drones_Ilmailun_saadosinfo_2017.pdf

Trafi (n.d.a). Miehitettävien ilma-alukset ja lennokit terminologia. Viitattu 16.8.2017 https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysytty/ilmailu_-_miehitettavat_ilma-alukset_ja_lennokit

Trafi (n.d.b) Miehitettävien ilmailu. Viitattu 16.8.2017. https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu

Tuuranen, P., Tarasti, M. & Rautiainen, A. (2012). *Jokamiehen oikeudet ja toimiminen toisen alueella*. Viitattu 15.11.2017 https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38797/SY30_2012_Jokamiehenoikeudet.pdf

Vinni, P. (2003). *Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria?* Viitattu 6.10.2017 <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>


Ympäristöministeriö. (2004). *Tietopaketti kaukokartoituksesta*. Viitattu 12.11.2017. [http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/Kaukokartoituksen_tietopaketti_\(2004\).pdf](http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/Kaukokartoituksen_tietopaketti_(2004).pdf)

Zarco-Tejada, P.J., Diaz-Varela, R., Angileri, V. & Loudjani, P. (2014). *Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods*.

RISKIANALYYSI

Riskianalyysi HAMKRPAS toiminta,

Pvm ja aika 28.6.2017

Laatijan Nimi Joonas Anttonen
Juhani LuomaAllekirjoitus 

Havaitut lentoesteet ja näkyvyyttä rajoittavat esteet, puut, rakennukset, sähkölinjat, mastot, savupiiput, antennit

Mitä havaittu ja miten vaikuttaa	Miten riski minimoidaan
Puusto, lentoeste	Riittävä lentokorkeus, tähtytäjän käyttö, lentopaikan huolehtinen valinta

Havaitut häiriötekijät, GPS- tai ohjaussignaalia häiritsevät tekijät tai kommunikointia vaikeuttavat tekijät

Häiriötekijä	Miten riski minimoidaan

Havaittu muu alueella tapahtuva toiminta, työt, ihmiset yms.

Häiriötekijä	Miten riski minimoidaan
retkeilijät	lennätyspaikan eristäminen kartioilla

Liite 1 (2/2)

Riskianalyysi HAMKRPAS toiminta,

Pvm ja aika 28.6.2017

Laatijan Nimi Joonas Anttiroiko
Juhaani LuomaAllekirjoitus 

Lentopaikan eristäminen, kuinka taataan, että lento voidaan suorittaa häiriöttä ja ettei vaaraa aiheudu muille.

Lentoonlähetyksellä esitetty kartioilla, lennättäjällä huomiota herättävä varustus (huomiotiliivi)

Liikenteen ohjaus: onko tarvetta ohjata liikennettä (jalankulkijat, pyörät, autot ja muut kulkuneuvot)

 Ei tarvetta

Ajankohta ja säätila, onko alueella riittävä näkyvyys ja lennätukseen sopiva säätila?

Aurinkoinen/pudopilvinen sää, tyni ilma, ei tuulta
lämpötila n. +18°C

Tehtävän luonne ja vaativuus (VLOS/BVLOS) ja riittääkö kauko-ohjaajan osaaminen suorittamiseen?

VLOS, vaativuus: helppo, kokemus: riittävä

Pvm	Paikka	Aloitusaika	Lopetusaika	Pääliikö	Ohjaaja, jos ei edellinen	VLOS	BVLOS	Lentotehtävän luonne	Kauko-ohji. tähtystäjä	Pääliikön kuitaus
14.6	EVO	9:30	10:10	Jouko Anttila	Jouko Anttila	X		Käyttö	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	10:50	11:30	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	13:01	13:55	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	14:45	14:59	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	10:40	11:15	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	11:50	14:01	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	12:00	12:41	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	13:06	13:50	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	9:00	15:30	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	12:11	12:50	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	13:00	13:38	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	14:45	15:45	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020
14.6	EVO	11:20	12:15	Jouko Anttila		X		-1-	Jouko Anttila	020

KOEALAKARTTA

