
METSÄN UAV-ILMAKUVAUS
Toteutus ja pintamallien laatiminen




Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evo, kevät 2016

Ville Kallioinen ja Lauri Laaksonen



EVO
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri

Tekijät	Ville Kallioinen & Lauri Laaksonen	Vuosi 2016
Työn nimi	Metsän UAV-ilmakuvaus – Toteutus ja pintamallien laatiminen	

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin UAV-laitteiston soveltuvuutta metsän mittaukseen ja mahdollisuutta saada puustotunnuksia tuotetusta ilmakehän aineistosta. Tarkoituksena oli myös arvioida menetelmien ja laitteiston käytännöllisyyttä ja toimivuutta metsätaloudellisessa ympäristössä. Työ tehtiin yhteistyössä Hämeen ammattikorkeakoulun ja Coetus-osuuskunnan kanssa.

Tutkimus koostui kolmesta eri vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa perehdyttiin kaukokartoituksen teoriaan, aineistojen käsittelyssä tarvittaviin ohjelmistoihin ja UAV-laitteistojen käyttöön sekä ilmakehän aineistoon. Toinen vaihe oli aineiston kerääminen, joka toteutettiin ilmakehän aineistolla Videodrone Finland Oy:n X4L-quadkopterilla Evon opetusmetsän alueella sijaitsevassa Tuohimetsässä. Tutkimusalue oli kooltaan noin kymmenen hehtaaria ja kuvaus suoritettiin 28.12.2015. Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa kerätystä aineistosta pyrittiin selvittämään metsikön puustotunnuksia erilaisten ohjelmistojen avulla.

Aineiston käsittelyssä käytettiin pääasiassa Agisoft Photoscan -ohjelmaa, jolla luotiin ilmakehän aineistosta 3D-malleja. Vertailuaineistona käytettiin Luonnonvarakeskukselta saatua UAV-ilmakehän aineistoa Evon opetusmetsästä.

UAV:llä kerätty aineisto oli puutteellista haastavien ympäristötekijöiden ja osittain vääränlaisen kuvaustavan takia. Tämä aiheutti ongelmia puuston mallintamisessa. Kerätyn aineiston ja vertailuaineiston perusteella voidaan todeta, että oikein tuotetusta UAV-aineistosta kyetään tuottamaan kasvillisuuden pintamalli ja tulkitsemaan puiden pituuksia sekä metsikön toimenpidetarvetta. Laitteistojen käyttöönottokynnys on suhteellisen matala, mutta kelvollisen aineiston tuottaminen ja jälkikäsittely vaatii enemmän perehtymistä. Aineiston laatu osoittautui suurimmaksi esteeksi tutkimuksen aikana.

Avainsanat UAV, kaukokartoitus, ilmakehän kuvaus, kasvillisuuden pintamalli, 3D-mallinnus

Sivut 37 sivua

EVO
Degree Programme in Forestry

Authors	Ville Kallioinen & Lauri Laaksonen
Year	2016
Subject of Bachelor's thesis	UAV Aerial Photography of Forest – Performing and Creating Digital Elevation Models

ABSTRACT

This study examined UAV applications in forestry and their usage as tools in forests measuring. The goal was to get actual tree features from the aerial photographs taken. It was also important to examine the practicality and functionality of the methods and equipment from the point of view of forestry. The study was done in cooperation with HAMK and Coetus cooperation.

The study can be divided in three parts. The first part was to learn about the theory of remote sensing and about different softwares that would be used in data processing. It was also important to find out about UAV systems, aviation instructions and laws. The second part was to collect the data and material using Videodrone X4L quadcopter. This aerial photography was done on December 28, 2015 in Tuohimetsä which is located in the educational forest of Evo. The pictured area size was about ten hectares. The third part was about processing data and generating tree features with different softwares.

The main software in data processing was Agisoft Photoscan which was used to create 3D models. For comparing results also another set of UAV pictures from the educational forest provided by Sakari Tuominen from LUKE was used.

Our own set of pictures taken by the UAV were flawed due to challenging weather conditions and partly wrong photographing methods. This caused problems when generating 3D models. When comparing these two picture sets it can definitely be said that properly produced material allows you to generate the canopy height model from UAV pictures and interpret the tree lengths. It is also possible to estimate the needs for silvicultural measures. It is quite easy to learn how to operate the UAV and UAV related systems but producing high quality material and proper data management requires much more orientation, in fact the biggest obstacle turned out to be the quality of the collected material.

Keywords UAV, remote sensing, aerial photographing, canopy height model, 3D modelling

Pages 37 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUKSEN TEORIA.....	2
2.1	Kaukokartoitus.....	2
2.1.1	Sähkömagneettinen säteily.....	2
2.1.2	Kohteen ominaissäteily.....	3
2.2	Ilmakuvaus.....	4
2.2.1	Ilmakuvauksen toteutus.....	5
2.2.2	Ilmakuvien ominaisuudet ja oikaisu.....	5
2.2.3	Ortoilmakuva.....	7
2.2.4	Ilmakuvien tulkinta ja käyttö.....	7
2.3	Laserkeilaus.....	8
2.3.1	Lentolaserkeilauksen tekniikka.....	9
2.3.2	Lentolaserkeilaus metsien inventoinnissa.....	9
2.3.3	Laserkeilausdatan analysointi.....	10
2.4	Laserkeilausdatan hyödyntäminen metsätaloudessa.....	11
2.4.1	Metsikkökuvointi.....	11
2.4.2	Metsäsuunnitelmätietojen kerääminen.....	11
2.5	UAV-laitteistot.....	12
2.5.1	Toiminta.....	12
2.5.2	Käyttö.....	13
2.5.3	UAV-lainsäädäntö.....	14
3	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	16
3.1	Tutkimusalue.....	16
3.2	UAV-kuvauslento.....	17
3.2.1	Kalusto.....	17
3.2.2	Lennon suunnittelu.....	18
3.2.3	Lento.....	20
3.3	Kuvauslennosta saatu aineisto.....	22
3.4	Ohjelmistot.....	23
3.5	Kuvien käsittely Agisoft-ohjelmalla.....	23
3.5.1	Kuvien sijaintitietojen käsittely.....	23
3.5.2	Kuvien linjaan asettelu.....	24
3.5.3	Tihennetty pistepilvi ja tekstuuri.....	25
3.5.4	Kasvillisuuden korkeusmallin luominen.....	27
3.5.5	LUKE:n kuvat.....	28
4	TULOKSET JA POHDINTA.....	29
4.1	Laitteiston käyttöönotto.....	29
4.2	Ohjelmiston toimivuus.....	30
4.3	Tuotettu aineisto.....	30
4.4	Kuvausalue ja ajankohta.....	32
4.5	Yhteenveto.....	32
4.6	Soveltuvuus metsätaloudessa.....	33
	LÄHTEET.....	35

Keskeistä sanastoa

ABA, Area Based Approach – Aluepohjainen tulkinta

ALS, Airborne Laser Scanning – Lentolaserkeilaus, ilmalaserkeilaus

CHM, Canopy Height Model – Latvuksen korkeusmalli

DEM, Digital Elevation Model – Maaston korkeusmalli

DTM, Digital Terrain Model – Maastomalli

DSM, Digital Surface Model – Pintamalli

GIS, Geographical Information System – Paikkatietojärjestelmä

GPS, Global Positioning System – USA:n globaali paikannusjärjestelmä

GNSS, Global Navigation Satellite System – Globaali paikannusjärjestelmä

ITD, Individual tree detection – Yksinpuintulkinta

LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – Laite joka tuottaa koherenttia valoa

LiDAR, Light Detection and Ranging – Optinen kaukokartoituslaite

UAS, Unmanned Aircraft System – Miehittämätön ilma-alus (koko laitteisto)

UAV, Unmanned Aerial Vehicle – Miehittämätön ilma-alus

WGS84, World Geodetic System 1984 – Yhdysvaltain puolustusministeriön määrittelemä ja ylläpitämä koordinaattijärjestelmä

1 JOHDANTO

Kaukokartoitustekniikka on kehittynyt viime vuosikymmenten aikana valtavasti harppauksin. Kaukokartoituslaitteiden ja dataa käsittelevien ohjelmistojen suorituskyky ja tarkkuus mahdollistavat kohteiden ja niiden ominaisuuksien mittaamisen ja tarkastelun hämmästyttävällä tarkkuudella. Perinteisesti kaukokartoituksessa on hyödynnetty satelliitteja ja lentokoneita tietoa keräävien mittalaitteiden alustoina. Tekniikan kehittyessä mittalaitteiden koko on pienentynyt niin paljon, että niitä on mahdollista asentaa jopa pieniin kauko-ohjattaviin ilma-aluksiin. Tämä on laskenut laitteistojen käyttökustannuksia, jolloin tekniikka on tullut suuremman yleisön saataville. Laitteistojen yleistyminen mahdollistaa uusien käyttötarkoitusten soveltamisen.

Miehittämättömät ilma-alukset – toisin sanoen UAV:t – ovat alun perin sotateollisuuden tuotoksia. Nytemmin niiden käyttö on yleistynyt myös siviiliväestön keskuudessa niin harraste- kuin ammattikäytössä. Käyttötarkoitukset voivat vaihdella aina ilmakuvauksesta logistisiin tehtäviin, ja niiden kokoluokat vaihtelevat muutamien senttimetrin ja useiden metrien välillä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää miehittämättömän ilma-aluksen soveltuvuutta metsän mittaamiseen. Keskeisenä kysymyksenä on, voiko UAV:llä otetuista ilmakuvista saada selville puustotunnuksia ja miten se onnistuu. Tämän yhteydessä pohditaan myös laitteistojen ja prosessiin tarvittavien ohjelmistojen helppokäyttöisyyttä. Tutkimus suoritetaan Evon opetusmetsän alueella.

2 TUTKIMUKSEN TEORIA

Tutkimuksen teoriaosuus käsittelee kaukokartoituksen perusteita. Ensin käsitellään kaukokartoitusta yleisesti ja sen taustalla olevia fysikaalisia ilmiöitä. Tarkemmin perehdytään ilmakuvaukseen ja laserkeilaukseen ja niiden käyttöön metsätaloudessa. Lopuksi paneudutaan miehittämättömien ilmalusten tekniikkaan, lainsäädäntöön ja soveltuvuuteen metsätaloudellisessa ympäristössä.

2.1 Kaukokartoitus

Kaukokartoitus tarkoittaa sähkömagneettisen säteilyn avulla tehtyä etämittausta, jossa tietoa kerätään ilman fyysistä kontaktia kohteeseen. Kaukokartoitusmenetelmät jakautuvat aktiivisiin ja passiivisiin menetelmiin havaitun säteilylähteen perusteella. Passiivisessa kaukokartoituksessa hyödynnetään joko auringosta peräisin olevaa heijastunutta säteilyä tai kohteensa itsensä emittoimaa, sähkömagneettista säteilyä. Aktiivisissa menetelmissä käytetään esimerkiksi tutkaa, jonka tuottamat näkymättömät aallonpituudet tarkastelevat kohdetta ja havainnoivat siitä heijastunutta säteilyä. Kaukokartoituksen avulla voidaan saada laajoilta alueilta tietoa samanaikaisesti ja sillä voidaan myös havainnoida aallonpituuksia, joita ihmissilmä ei erota. Alueella tapahtuvia muutoksia voidaan seurata vertailemalla eri ajankohtina otettuja kuvia. Näin saadaan objektiivista, arvioijasta riippumatonta tietoa. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011, 129.)

2.1.1 Sähkömagneettinen säteily

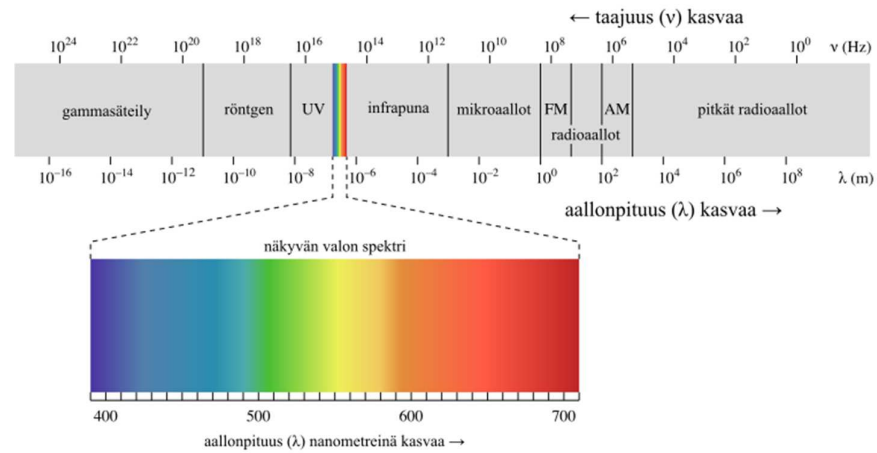
Kaukokartoituksessa tietoa saadaan sähkömagneettisen säteilyn avulla, joka tarkoittaa valon nopeudella leviävää poikittaista aaltoliikettä sähkökentässä ja sitä ympäröivässä magneetikentässä. Mikäli kappaleen lämpötila on absoluuttisen nolapisteen yläpuolella, kykenee se heijastamaan tai lähettämään sähkömagneettista säteilyä. Sähkömagneettista säteilyä kuvataan kaavalla:

KAAVA 1 *Sähkömagneettisen säteilyn kaava*

$$c = \lambda \cdot f$$

Säteilyn frekvenssi eli taajuus (f) pienenee aallonpituuden (λ) kasvaessa, koska valon nopeus (c) on vakio. Lyhytaaltoisen säteilyn frekvenssi on siis suurempi kuin pitkäaaltoisen ja päinvastoin. (Kangas ym. 2011, 130.)

Sähkömagneettisen säteilyn kattavaa aallonpituuksien jatkuvaa kokonaisuutta kutsutaan spektriiksi. (Kuva 1. s. 3.) Spektri jakaantuu eri aallonpituusalueisiin; aallonpituudeltaan lyhintä säteilyä on avaruussäteily ja pisintä ovat radioaalto. Kaukokartoituksessa havainnoidaan tavallisesti vain näkyvän valon (0,38–0,73 μm) ja infrapunasäteilyn alueita (0,73–1,5 μm). (Tokola, Hyppänen, Miina, Vesa & Anttila 1998, 3.)



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri. (Ronan P. Wikimedia Commons n.d.)

Ilmakehä muuttaa sähkömagneettista säteilyä. Muutosta aiheuttavat säteilyn sironta, absorptio ja taipuminen. Ennen kaukokartoituslaitteen sensorin saavuttamista säteily on läpäissyt ilmakehän kahdesti: ensin säteily heijastuu auringosta tai kaukokartoituslaitteeseen liitetystä säteilylähteestä maanpinnalle ja sieltä takaisin kaukokartoituslaitteeseen. (Tokola ym. 1998, 3–5.)

Ilmakehässä tapahtuvaa säteilyn muuttumista kutsutaan sironnaksi. Tässä ilmiössä sähkömagneettisen säteilyn suunta ja intensiteetti muuttuu ilmakehän hiukkasten ja molekyylien johdosta. Sironta voi olla aallonpituudesta riippuvaa tai riippumatonta. Aallonpituudesta riippuvassa sironnassa sironnan määrä lisääntyy aallonpituuden pienetessä, kun taas riippumaton sironta vaikuttaa samalla tavalla kaikkiin aallonpituuksiin. Sironnasta johtuen joi-tain aallonpituusalueita, kuten sinistä ja UV-aluetta, ei voi käyttää kaukokartoituksessa. (Tokola ym. 1998, 3–5.)

Kun ilmakehä estää tai vähentää voimakkaasti säteilyn tai sen energian läpäisyä ilmakehässä, säteily absorboituu. Tällöin ilmakehän molekyyli-emittoivat vastaanottamansa säteilyn matalaenergisinä, pitempiaaltoisena säteilyinä. Absorptio tarkoittaa siis säteilyn imeytymistä ilmakehän molekyyliin (otsoni, hiilidioksidi ja vesihöyry). Kaukokartoituksessa hyödynnetään hyvin ilmakehää läpäiseviä aallonpituusalueita. Näitä aallonpituusalueita kutsutaan ilmakehän ikkunoiksi. Yleisesti käytettyjä ikkunoita ovat näkyvä valo ja lähi-infra, 3–5 μm (lämpökuvauksen, monikanavakeilain), 8–14 μm (lämpökuvauksen, monikanavakeilain), ja yli 1 mm (mikroaaltometri ja tutka). (Kangas ym. 2011, 131.)

2.1.2 Kohteen ominaissäteily

Kohteen ominaissäteilyä kutsutaan ominaisspektriiksi. Sitä käytetään hyväksi kaukokartoituksessa tunnistettaessa kohteita ja tarkasteltaessa niiden ominaisuustietoja. Jokainen kohde heijastaa, emittoi ja absorboi säteilyä sille ominaisella tavalla. (Tokola ym. 1998, 7–9.) Heijastuneen säteilyn

energian suhdetta saapuvan säteilyn energiaan kutsutaan heijastussuhteeksi. Eri aallonpituuksien heijastussuhteista muodostuu ominaissäteilyn kuvaaja, joka on kohteelle tyypillinen: esimerkiksi lehtimetsät näkyvät lopullisessa kuvassa havumetsiä vaaleampina, väärävärivissa yleensä punaisina. Spektrinen heijastussuhdetekijä saadaan jakamalla kohteen heijastaman säteilyn määrä kohteen saaman säteilyn määrällä. Ominaissäteilyyn voivat vaikuttaa kohteen lisäksi myös sää, vuodenaika, vuorokaudenaika sekä auringon ja mittalaitteen korkeus ja ilmansuunta eli atsimuuttikulma. (Auvinen, Pukkala & Vesa 1997, 68.)

Kohteiden ominaisspektrit on hyvä tuntea kaukokartoituksessa. Pidemmälle viedyissä tulkinnoissa ominaisspektristä voidaan päätellä ns. biofysikaalisia muuttujia, kuten kasvillisuuden absorboimaa fotosynteettisesti aktiivista säteilyä, lehtialaindeksiä ja kasvuston klorofyllipitoisuutta (Rautiainen, Stenberg, Heiskanen, Möttö, Korhonen, Peltoniemi, Suomalainen, Kaasalainen & Manninen 2008). Pienempien kasvien ja kasvien osien ominaisspektrit voidaan mitata laboratorioissa, mutta luotettavampiin tuloksiin päästään maastomittauksilla (Tokola ym. 1998, 7–9).

Kasvuston ominaissäteily muodostuu kasvien ja kasvien osien ominaissäteilystä. Spektriseen heijastukseen vaikuttavat yksittäisten kasvien heijastuksen lisäksi myös muut muuttujat, kuten kasvun ajankohta, sijainti, taustan heijastus, kasvin ja kasvuston geometria, varjot ja havainnointigeometria. Näistä tekijöistä johtuen kasvuston heijastussuhde on aina pienempi kuin yksittäisen lehden. (Tokola ym. 1998, 13.)

2.2 Ilmakuvaus

Ilmakuvaus on passiivinen kaukokartoituksen muoto. Tällä tarkoitetaan, että kuvauksessa tarvitaan ulkoista valonlähdettä eli tässä tapauksessa auringon säteilyä. Kuvaukskohteesta taltioidaan kohteen heijastamaa auringon säteilyä. Ilmakuvauksessa maastoa valokuvataan ilmasta käsin joko satelliitilla, lentokoneella, helikopterilla tai miehittämättömällä ilma-aluksella.

Ilmakuvauksen historia alkaa jo 1800-luvun puolivälistä, mutta käytännössä vasta 1920-luvulla tekniikka mahdollisti sen hyötykäytön (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011, 136). Ilmakuvausta käytettiin toisessa maailmansodassa, jonka jälkeen se yleistyi. Suomessa ensimmäinen valtakunnallinen ilmakuvaus pohjainen peruskartoitus tehtiin 1948–1977 (Päivänen 2010, 86). Metsätaloudessa ilmakuvausta on käytetty 1950-luvulta lähtien. 70-luvulta alkaen kuvat ovat olleet kuvioittaisen metsänarvioinnin apuväline (Auvinen ym. 1997, 79). Vanhoista filmikameroista on nykyään luovuttu ja kuvaus toteutetaan digitaalisesti. Digitaalisista kuvista voidaan nykytekniikalla luoda pistepilviä niin puustosta kuin maaston muodoista.

Metsätaloudessa ilmakuvausta on perinteisesti käytetty metsän visuaaliseen ennakkokuvointiin. Ilmakuvauksen mahdollisuudet tulevat laajenemaan paikannustarkkuuden parannuttua sekä uuden kamerateknologian, ohjelmistojen, paremman laskentatehon sekä UAV-laitteiden tultua saataville.

2.2.1 Ilmakuvauksen toteutus

Yleisesti ilmakuvaus suoritetaan lentokoneesta käsin, kun lentokorkeus on 1 000–9 000 metriä. Koneella pyritään lentämään ennalta suunniteltua reittiä kohtisuoraan alas kuvaten. Kone lentää hitaasti ja vakaasti ja kerää samalla GPS-laitteistolla kuvien sijaintitiedot.

Metsätaloudessa käytetään pystykuvausta, jossa kuvan kallistuma on alle 5 astetta. Kuvaa, joka on otettu suoraa linssin alapuolelta, kutsutaan nadiirikuvaksi. Nadiiripiste on piste kohtisuoraan linssin alapuolella. Kone lentää suoraa linjaa siten, että kuvista saadaan kuvajono tai ns. pituuspeitto, jossa peräkkäiset kuvat peittävät toisistaan n. 60 %. Sivupeitto saadaan, kun vierekkäiset jonot kuvataan siten, että ne peittävät toisistaan n. 30 %. Nykyisin digitaalisen kuvaustekniikan avulla on kuvauspeittoa voitu helposti kasvat-
taa ilman suurempia kustannuksia. Päällekkäisellä kuvauksella varmistetaan, että koko alue kuvataan kattavasti eikä kuvien reuna-alueita tarvitse niiden huonon laadun takia käyttää. Samalla saadaan tuotettua stereoskoop-
pinen näkymä kohteesta. Stereokuvaus mahdollistaa kohteiden myöhem-
män tarkastelun kolmiulotteisena. (Auvinen ym. 1997, 79–89.)

Ilmakuvauksessa voidaan käyttää näkyvän valon lisäksi myös lähimpänä näkyvän valon aallonpituutta ilmenevää lähi-infrapun aallonpituusalu-
etta. Lähi-infrapuna käytettäessä kohteet eivät kuvaudu ihmissilmälle tu-
tuin värein ja tällaista kuvaa nimitetäänkin siksi vääräväriseksi. Lähi-inf-
raa voidaan käyttää esimerkiksi havu- ja lehtimetsien erotteluun, sillä lehti-
puusto heijastaa huomattavasti enemmän lähi-infraa ja erottuu havupuus-
tosta selkeän punaisena. Näkyvän valon alueella lehti- ja havumetsien omi-
naissäteily on melko samanlaista. (Kangas ym. 2011, 136.)

Nykyään ilmakuvaus toteutetaan numeerisina eli digitaalisina ilmakuvina digikameralla kuvaamalla. Vanhoja analogisia kuvia skannataan myös di-
gitaaliseen muotoon. Digitaalisuus mahdollistaa ilmakuvan oikaisun koor-
dinaatistoon, tunnettujen tukipisteiden, kameran kalibroinnin ja numeeris-
ten korkeusmallien avulla. (Kangas ym. 2011, 136.)

2.2.2 Ilmakuvien ominaisuudet ja oikaisu

Ilmakuva on keskusprojektio, jolloin kauempana olevat kohteet näyttävät
pienemmiltä. Tästä syystä tiivis kuvapeitto on olennainen tekijä, mikäli ku-
via halutaan käyttää kaukokartoituksessa.

Kuvien soveltuvuutta kaukokartoitukseen ja niiden tulkinnan tehokkuutta
pyritään parantamaan kuvien esikäsittelyllä. Radiometrisillä korjauksilla
pyritään vähentämään ilmakehästä, auringosta ja optiikasta johtuvia sävyar-
vojen muutoksia. (Holopainen 2002, 518). Geometrisillä korjauksilla taas
korjataan maaston topografian aiheuttamia mittakaavavirheitä, kuvan kal-
listuneisuutta ja säteissiirtymää.

Metsäisessä ilmakuvassa kuvan laidoille jäävät puut nähdään jonkin verran
sivusuunnasta. Tällöin puiden latvat näyttävät siirtyneen nadiiripisteestä

pois päin. Tätä siirtymää kutsutaan säteissiirtymäksi. Nadiiripisteessä säteissiirtymää ei ole, mutta mitä kauempana puut sijaitsevat nadiiripisteestä, sitä suurempi latvojen siirtymä on pisteestä poispäin. Myös maaston muodot vaikuttavat säteissiirtymään. Keskimääräistä korkeammalla sijaitsevien puiden latvat siirtyvät näennäisesti nadiirista poispäin, kun taas matalammalla olevien puiden latvat näyttävät siirtyvän nadiiriin päin. (Auvinen ym. 1997, 84–86.)

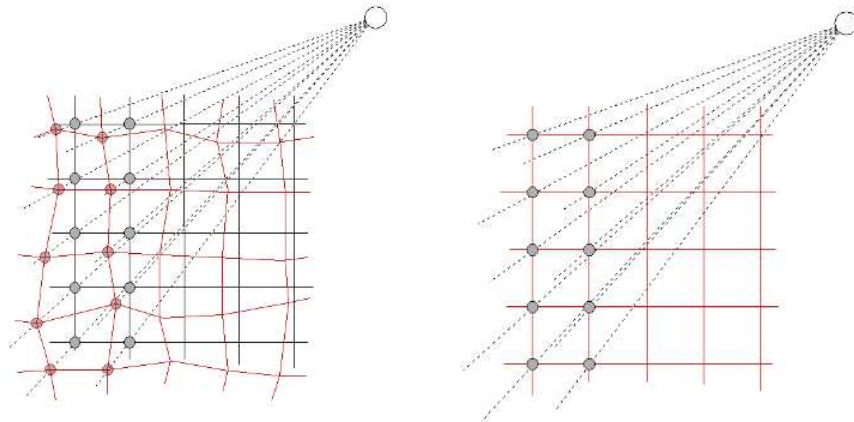
Mikäli ilmakuva on kallistunut, aiheuttaa se kallistussiirtymää, josta seuraa kuvan mittakaavan vääristyminen. Kallistussiirtymän korjaaminen on melko yksinkertaista, kallistetaan pystykuva samaan kulmaan kuin kuvauskulma oli kuvan ottamishetkellä. Eli käytännössä oikaistaan kuva. (Auvinen ym. 1997, 87.)

Kaukokartoituksessa oleellista on, että ilmakuva on mittakaavassa. Mittakaava saadaan hyödyntämällä kameran polttoväliä ja tunnettua lentokorkeutta. Polttoväliksi kutsutaan etäisyyttä linssistä filmissä/sensorikennossa sijaitsevaan pisteeseen, jonka kautta kaikki valonsäteet kulkevat. Tätä pistettä kutsutaan polttopisteeksi. Mitä pienempi polttoväli on, sitä laajempi kuvakulma. Laajempaan kuvakulmaan mahtuu enemmän tietoa ja sitä kautta enemmän vääristymää.

Myös maaston topografinen vaihtelu vääristää mittakaavaa, jolloin merenpinnasta korkeammalla sijaitsevien kohteiden mittakaava on suurempi kuin alavien kohteiden mittakaava. Todellinen korjattu mittakaava saadaan vähentämällä lentokorkeudesta maaston todellinen vaihtelu. (Auvinen ym. 1997, 84–85.)

2.2.3 Ortoilmakuva

Tulkinnan helpottamiseksi kuvat siis muutetaan keskusprojektiosta ortokuvaksi, joka vastaa projektioltaan karttaprojektiota. Tämä ns. orto-oikaisu edellyttää, että alueelta on olemassa korkeusmalli tai malli tehdään kuvauksen yhteydessä. Mallia käytetään oikaisupintana. Korkeusmallin laatu vaikuttaa siis suoraan ortokuvan geometriseen tarkkuuteen. (Kuva 2.) (Haggrén & Honkavaara 2005.)



Kuva 2. Vasemmalla on koordinaatisto ja maastovirhe. Oikealla koordinaatistoon oikaistu ortokuva, jossa maastopisteet on viety koordinaatistoon. (Haggrén & Honkavaara 2005.)

Parhaaseen tulokseen päästään, kun ortokuvaus toteutetaan nadiirikuvauksena. Kuvauksessa käytetään kameraa, jolla on pitkä polttoväli, jotta kuvakulma olisi mahdollisimman kapea. Kapeampi kuvakulma saadaan myös lentokorkeutta nostamalla. (Haggrén & Honkavaara 2005.)

Nykytekniikka mahdollistaa ilmakuvaoikaisun pikseleittäin niiden todellisiin koordinaatteihin. Näin maaston korkeuseroista johtuva pikselikohtainen mittakaavavaihtelu saadaan tasoitettua. Tällöin kaikki pikselit näkyvät samassa mittakaavassa maaston muodoista riippumatta. (Haggrén & Honkavaara 2005.)

Ortokuvissa geometria on siis oikaistu vastaamaan karttaa eli ne ovat mitattarkkoja ja niistä voidaan mitata pinta-aloja sekä etäisyyksiä (Maanmittauslaitos n.d.). Ortokuvan etu onkin juuri kartan spatiaalisen tarkkuuden yhdistäminen ilmakuvan informaatioon (Kangas ym. 2011, 136).

2.2.4 Ilmakuvien tulkinta ja käyttö

Kun halutaan yhdistää alueelta otetut kuvat yhdeksi, luodaan ns. ilmakuvamosaiikki. Tämä kuvayhdelmä kootaan ohjelmistolla, jonka avulla kuvat häivytetään esimerkiksi tasapainottamalla kuvien välisiä värieroja. Mosaiikin tarkoitus on olla saumaton ja tasalaatuinen. (Ratahallintokeskus 2003.)

Perinteisesti ilmakuvia tulkitaan tarkastelemalla niitä visuaalisesti. Visuaalisen tarkastelun etuna on ihmisen kyky käsittää kokonaisuuksia. Kuvasta pystytään melko tarkasti tekemään esimerkiksi ennakkokuviointia. Vääräväri-ilmakuvan ja stereokuvan avulla tulkintaa pystytään vieläkin tarkentamaan. Väärävärikuva auttaa puulajin tunnistamisessa ja stereokuvista saatu kolmiulotteinen vaikutelma parantaa puiden korkeuden havainnointia. Kuvia käytetään myös yleisesti GIS-ohjelmien taustakarttana tukemassa esimerkiksi maastokarttaa.

Digitaalisuus mahdollistaa kuvien jatkokäsittelyn esimerkiksi metsikön rakennetta kuvaavavaksi DSM:ksi (Digital Surface Model). DSM:n ja maanpintamallin eli DTM:n (Digital Terrain Model) erotuksesta saadaan latvuksen korkeusmalli eli CHM (Canopy Height Model). CHM sisältää siis puuston pitoisuuden.

2.3 Laserkeilaus

Laserkeilaus eli ALS (Airborne Laser Scanning) tarkoittaa aktiivista kaukokartoitusmenetelmää. Laserkeilauksessa käytetään lasersädettä valaistamaan esimerkiksi maan pintaa tai infrastruktuuria. Laserkeilaustekniikasta käytetään nimitystä LiDAR (Light Detection and Ranging). (Holopainen ym. 2013, 11.)

Laserkeilain on aktiivinen kaukokartoituslaite, joka lähettää itse sähkömagneettista säteilyä ja vastaanottaa sitä sen heijastuttua kohteesta. Keilain koostuu lähettäjistä, vastaanottajista ja tallentimesta. Lähettäjän tehtävänä on lähettää säteilyimpulsseja tietyllä taajuudella toistuvasti. Vastaanottaja puolestaan mittaa heijastuneen säteilyn arvoa, joka tallentuu tallentimen muistiin. Lähetetyn ja vastaanotetun signaalin aikaerosta voidaan laskea heijastuneen kohteen etäisyys keilainlaitteistoon, koska sähkömagneettisen säteilyn etenemisnopeus ilmassa on lähes vakio. (Tokola ym. 1998, 50.)

Laserpulssien tieto tallennetaan kolmiulotteiseen pistepilveen. Kun laserpulssit osuvat kohteisiinsa, tallentaa sensori niiden heijastamat paluukaiut. Osumista muodostetaan jälkilaskennassa X- ja Y-koordinaatit, jotka sijoitetaan valittuun koodinaattijärjestelmään, sekä Z-koordinaatit, joiden avulla voidaan määrittää heijastusten korkeus valitussa korkeusjärjestelmässä. (Maanmittauslaitos n.d.)

Rakennetun ympäristön ja luonnonvarojen mittauksen, kartoituksen ja inventoinnin menetelmät ovat mullistuneet laserkeilaustekniikan ansiosta. Nykyisten tutkimustulosten perusteella 3D-menetelmillä on tätä nykyä päästy operatiivisen metsäsuunnittelun vaatimalle tarkkuustasolle. ALS-menetelmää voidaan käyttää parhaiten maaston korkeusmallien laadintaan. Tästä syystä myös Maanmittauslaitos on hankkimassa koko suomen kattavaa laserkeilausaineistoa. (Holopainen ym. 2013, 9.)

2.3.1 Lentolaserkeilauksen tekniikka

LASER tarkoittaa optista valonvahvistinta, ja se on lyhenne sanoista Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Laservalon neljä ominaisuutta erottavat sen tavallisesta valosta: monokromaattisuus, koherenttisuus, yhdensuuntaisuus ja kirkkaus. Monokromaattisuudella tarkoitetaan, että säteily sisältää vain yhtä aallonpituutta. Koherenttisuudella puolestaan tarkoitetaan sitä, että säteilyn amplitudi ja vaihe pysyvät samoina pitkilläkin matkoilla. (Oulun yliopisto n.d., 307–326.)

Laser koostuu kolmesta osasta: keilainosasta, lasertykistä ja ilmaisinosasta. Lasertykki tuottaa laserpulssia ja keilainosa aiheuttaa lentosuuntaa vastaan kohtisuoran poikkeutuksen. Ilmaisinosan avulla tulkitaan vastaanotettu signaali ja määritetään etäisyys kohteeseen. Tavallisesti laserkeilauslaitteisto koostuu etäisyydenmittausjärjestelmästä, keilaimesta sekä tiedontallennus- ja valvontajärjestelmästä. Useissa laserkeilauslaitteistoissa on kytketty lisälaitteena kamera. (Holopainen ym. 2013, 14.)

Laserkeilaus perustuu lentokoneessa tai maassa olevan keilaimen lähettämiin laserpulsseihin, jotka kohteeseen osuessaan heijastuvat takaisin ilmaisimelle. Lennon aikana tarkat paikannustiedot saadaan käyttämällä GPS- tai GNSS-mittausta ja lentokoneen kallistumiskulmista kertovia inertialaitteita. Näin kunkin pulssiosuman saaneen kohteen tasosijainti ja korkeus kyetään määrittämään tarkasti. (Maanmittauslaitos n.d.)

Lennon aikana lasermittauslaitteisto tallentaa etäisyysmittaukset sekä sijainti- ja kiertotiedot. Eri sensorien aineistot yhdistetään jälkikäsitellyssä. Kaikille lennon aikana mitatuille pisteille lasketaan koordinaatit WGS84-koordinaatistossa. (Holopainen ym. 2013, 16–17.)

2.3.2 Lentolaserkeilaus metsien inventoinnissa

Laserpulssin osuessa puustoon tuloksena on yksi tai useampi paluukaiku. Esimerkiksi tarkasteltaessa yksittäistä paluukaikua, pulssi aiheuttaa yhden paluukaikon osuessa tiheään lehvästöön. Puun latvus ei ole kuitenkaan yhtenäinen pinta ja puustossa esiintyy erisuuruisia aukkoja. Tällöin saadaan aikaan useampia paluukaikuja: laserpulssi osuu lehvästöön, läpäisee latvuksen, leikkaa puun eri osia ja osuu lopulta maahan. On kuitenkin oletettava, että ensimmäiset kaiut saadaan kasvuston ylimmiltä osilta ja viimeiset suurimmilta osin maanpinnasta, jolloin maanpinnan tason arvioiminen mahdollistuu. Näin ollen useamman paluukaikon avulla saadaan hyödyllistä tietoa metsän rakenteesta. (Holopainen ym. 2013, 20–21.)

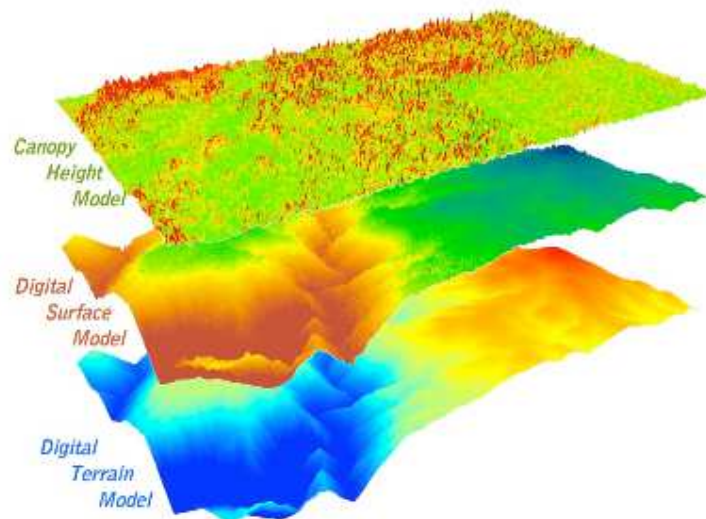
Puuston rungot, oksat ja lehdet aiheuttavat laserpulssille signaalin vaimenusta, sirontaa ja moninkertaisia heijastuksia. Tämä johtaa siihen, että tiheämpää metsikköä laserkeilatessa paluukaikuja esiintyy vähemmän ja kaikujen voimakkuus maanpinnalta heikentyy huomattavasti. Pulssin tunkeutumiskykyyn, paluupulssijakaumaan sekä aineiston laatuun vaikuttavat myös keilauskulma, keilan koko, lentokorkeus ja käytetty pulssintoistotajuus. (Holopainen ym. 2013, 21.)

Puustotietoja voidaan tuottaa laserkeilausaineistosta kahdella tavalla: yksinpuintulkinnalla (ITD, Individual Tree Detection) tai aluepohjaisella menetelmällä (ABA, Area-Based Approach). Yksinpuintulkinta perustuu puiden fysikaalisten ominaisuuksien tulkintaan suoraan 3D-pistepilvestä. Tämä menetelmä vaatii tiheämpipulssisen ja kalliimman laserkeilausaineiston, jotta yksittäisten puiden piirteet ovat erotettavissa. (Holopainen ym. 2013, 21.)

Aluepohjaisessa menetelmässä käytetään harvapulssista laserkeilausta sen kustannustehokkuuden takia. Tällä tavoin saatu aineisto on epätarkempaa ja sen toimivuus vaatii, että sen tukena on laaja, tarkasti mitattu maastoaineisto. Puustotiedot selvitetään laserkeilausaineistosta saatuja pistepilviä vertaamalla piirteiltään lähimpiin maastossa mitattuihin koeloihin. Menetelmässä hyödynnetään tilastollisia riippuvuussuhteita ja ennustettavuutta. (Holopainen ym. 2013, 21–22.)

2.3.3 Laserkeilausdatan analysointi

Pistepilven prosessoinnissa käytetään erilaisia pintamalleja ja luokitteluja, kuten kuvassa 3. Kaikkien maanpinnan muotojen numeerista esitystä kutsutaan nimellä DEM (Digital Elevation Model). Yleisimmät pintamallit ovat maan pinnan maastomalli (Digital Terrain Model – DTM), korkeimpien kohteiden avulla määritetty pintamalli (Digital Surface Model – DSM), ja puuston korkeutta kuvaava pituusmalli (Canopy Height Model – CHM). Puuston pituusmalli tarkoittaa siis pintamallin ja maastomallin erotusta. (Holopainen ym. 2013, 13.)



Kuva 3. Pohjimmaisena kuvassa on maastomalli ja keskimmäisenä maaston pintamalli. Niiden erotuksena saatu kasvillisuuden pintamalli on kuvassa päällimmäisenä. (SNAMP UCST Spatial Team. 2012.)

2.4 Laserkeilausdatan hyödyntäminen metsätaloudessa

Laserkeilauksen suurimpana etuna on varmasti metsässä suoritettavan mitaustyön vähentyminen. Laserkeilausaineistosta voidaan muodostaa metsäsuunnitelmia ja maanmuodot voidaan mallintaa tarkasti esimerkiksi ojitusta varten. Samalla voidaan etsiä myös potentiaalisia hakkuukohteita ja määrittää niiden korjuukelpoisuus. (Puuntuottaja 2012.)

2.4.1 Metsikkökuviointi

Metsikkökuviointi on perinteisesti tulkittu suoraan ilmakuviosta, mikä on kallis ja aikaa vievä prosessi. Metsikkökuviointi voidaan kuitenkin tulkita automaattisesti LiDAR-aineistosta, jolloin prosessi nopeutuu ja kulut vähentyvät. Kuviointi alkaa LiDAR-aineiston ryhmittelyllä latvuskorkeuksien ja -tiheyden perusteella. Ryhmittelyn tuloksena saadaan erilaisia yhtenäisiä alueita, joita kutsutaan mikrokuvioiksi. Tämän jälkeen mikrokuvioiden tiedot yhdistetään metsikkökuvioitietoihin. Näiden toimenpiteiden avulla on mahdollista muodostaa samankaltaisten naapurien kanssa suurempia metsikkökuvioita esimerkiksi maksimikorkeuden tai muun halutun muuttujan perusteella. Kuvioita on myös mahdollista muokata esimerkiksi kiinteistörajojen, hallinnollisten tai luonnollisten rajojen perusteella. (Blom n.d.)

2.4.2 Metsäsuunnitelmatietojen kerääminen

Perinteisesti metsäsuunnitelmatiedot on kerätty manuaalisesti mittaamalla puustotiedot paikan päällä. Lähtökohtaisesti laserkeilausmenetelmää käyttäen on mahdollista vähentää maastossa tehtävää mittaamista ja äärimmilleen vietyinä maastomittaukset voidaan jättää tekemättä kokonaan. (Puuntuottaja 2012.)

Tiheäpulsista laserkeilausaineistoa käyttämällä voidaan määrittää 90–95 %:n tarkkuudella, onko kyseessä mänty, kuusi vai lehtipuu. Käytännön pulssitiheyksillä tulokset ovat 75–85 %. Puuston pituus saadaan kuitenkin määritettyä tarkasti, mikä helpottaa puustotilavuuden laskentaa pohjapinta-alan määrittämisen jälkeen. Puustotilavuuden määrittäminen on vielä todellisuudessa epätarkkaa, esimerkiksi monissa vaiheissa kasvavien metsien takia. Tämä johtaa myös siihen, että kasvuprosentin määrittäminen vaikeutuu, kun verrataan eri aikaan laserkeilattuja aineistoja keskenään. (Puuntuottaja 2012.)

Toimenpidetarve voidaan määrittellä tietokoneavusteisesti etsimällä esimerkiksi taimikoista puuston pituuden ja peitteisyyden perusteella metsänhoitoa vaativat kuviot. Kasvupaikkatyyppiä laserkeilauksella ei voida määrittää, koska se vaatisi tarkkaa aluskasvillisuuden tunnistamista. Tähän ei kuitenkaan ole tarvetta, sillä kasvupaikkatyyppit ovat entuudestaan määritetty käytännössä koko maahan perinteisillä menetelmillä. (Puuntuottaja 2012.)

Laserkeilauksesta on varmasti hyötyä myös puuteollisuudelle. Laserkeilausaineisto mahdollistaa tehostetun puun ostamisen tarkan metsävaratiedon avulla. Tämä edellyttää sitä, että laserkeilausta suoritettaisiin Suomessa tasaisin väliajoin. (Puuntuottaja 2012.)

2.5 UAV-laitteistot

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) tarkoittaa kauko-ohjattavaa ilmassa liikkuvaa laitetta eli lennokkia. Usein laitteeseen on mahdollista määrätä ennalta lentoreitti GPS-koordinaattien avulla. Nimityksellä UAS (Unmanned Aircraft System) tarkoitetaan koko järjestelmää, joka kattaa maa-asetat ja videojärjestelmät. Pääsääntöisesti lennokit jaetaan kahteen pääryhmään: kiinteäsiipisiin ja pyöriväsiipisiin. (Hassinen 2013, 3.)

UAV-laitteet soveltuvat parhaiten ilmakuvauksiin ja kartoitukseen. Periaate on samankaltainen kuin lentokoneesta tai helikopterista tapahtuvassa ilmakuvauksessa. Kuvattavan kohteen yli lennetään useita kertoja siten, että kuvat peittävät toisiaan. Tekniikan kehittyessä UAV-laitteita tullaan käyttämään yhä enemmän esimerkiksi kuljetustehtäviin tai etsintä- ja valvonta-tehtäviin. Laitteet toimivat myös ns. instrumentaalustana, joten niihin voidaan kiinnittää kameran sijasta esimerkiksi laserkeilain.

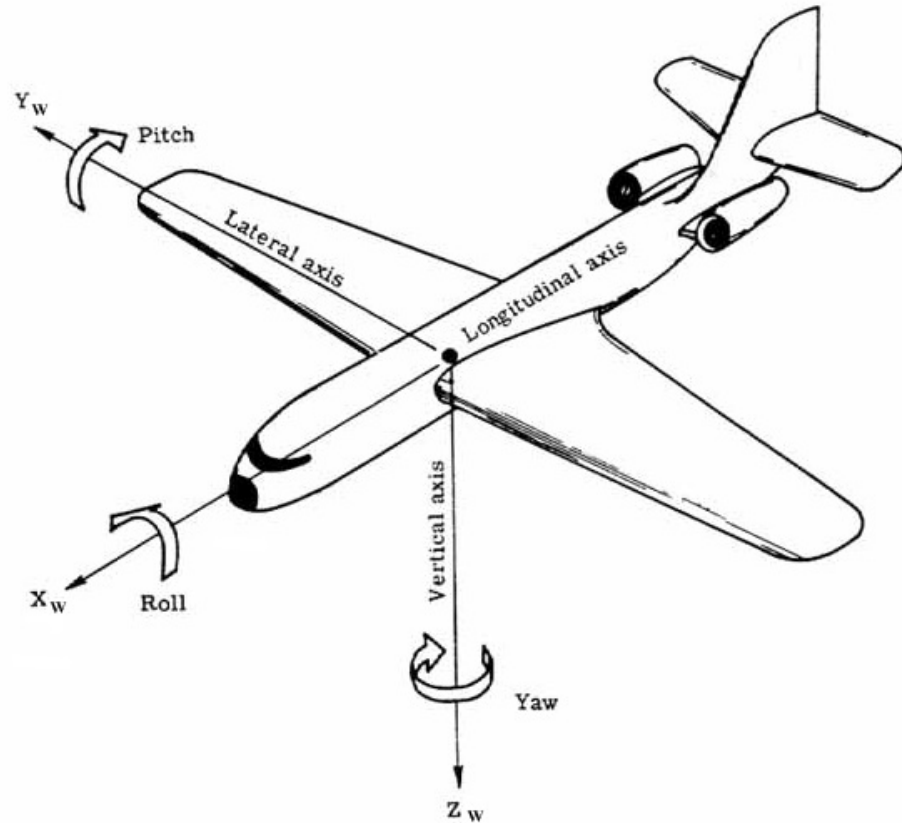
2.5.1 Toiminta

UAV-laitteiden koko vaihtelee muutamista senteistä useisiin metreihin käyttötarkoituksesta riippuen. Koptereissa roottorien määrä voi vaihdella yhdestä useampaan roottoriin. Koptereiden etuna voidaan pitää niiden hallittavuutta pienessä tilassa ja vaikeissakin olosuhteissa. Roottorit mahdollistavat tarkan nousemisen ja laskeutumisen sekä laitteen hallinnan kovalla tuulella. Toisaalta akunkesto on heikompi ja näin ollen kopteri vaatii useamman lentokerran kuin kiinteäsiipinenlennokki.

Lennokki on osa UAS-järjestelmää, johon kuuluu ohjainyksikkö ja ohjausjärjestelmä. Lennokissa on oma GPS-vastaanotin, johon lentosuunnitelma voidaan syöttää tietokoneen avulla. Ohjausjärjestelmä hoitaa lennon automaattisesti, mutta lennättäjällä on oltava mahdollisuus ja taidot ottaa lennokki manuaalisesti haltuun ohjainyksikön avulla esimerkiksi vaaratilanteissa.

Usein lentosuunnitelma laaditaan siten, että kuvat peittävät osin toisiaan. Näitä peittoja kutsutaan sivu- ja pituuspeitoiksi. UAV:llä käytetään usein suurempaa peittoaluetta, jopa 80 %:n pituuspeittoa ja 60 %:n sivupeittoa, jotta kuvat voidaan helposti yhdistää ja saada tarkempia tuloksia esimerkiksi pistepilven tai maastomallin muodossa. Kaikki kuvat otetaan samalta korkeudelta samansuuntaisesti tasaisin väliajoin, jolloin pituus- ja sivupeitot täytyvät. Kuvat tallentuvat kameran muistikortille ja lentotiedot kopterin muistiin. Lentotietojen perusteella voidaan määrittää jokaisen kuvan ottohetki, sijainti ja aluksen kallistustiedot.

UAV-laitteen lentoreitti voidaan sijoittaa XYZ-koordinaatistoon. Tämän lisäksi jokaisella akselilla on oma kiertymiskulmansa. Nämä kolme kiertymiskulmaa ilmoittavat yhdessä lennokin asennon koordinaatistossa maan keskipisteeseen nähden. Jokaisella on oma nimensä: roll (dX), pitch (dY) ja yaw (dZ). (Kuva 4.) Roll tarkoittaa aluksen kallistuskulmaa runkonsa ympäri, pitch ylös ja alaspäin kallistusta sekä yaw kompassisuuntaa. Näitä tietoja tarvitaan aineiston prosessointivaiheessa.



Kuva 4. Lennokin kiertymiskulmat. (TKJ Electronics 2012.)

2.5.2 Käyttö

UAV-laitteiden käyttötarkoituksia on lukemattomia aina harrastelentämisestä ja elokuvanteosta pelastustehtäviin ja sotilaalliseen toimintaan. Tulevaisuuden kannalta on vaikea ennustaa, mihin tekniikkaa vielä sovelletaan.

Yleisimpiä käyttötarkoituksia ovat perinteiset maisemakuvat ja rakennuksista otetut ilmakuvat. Nykytekniikalla pystytään jo samanlaisiin kuviin kuin oikeasta lentokoneesta tai helikoptereista otettuihin. UAV:llä pystyy lentämään tarpeeksi matalalla paikallaan tai kohdetta kiertäen ottaen lukuisia kuvia, jolloin onnistumiseen on suurempi todennäköisyys. Tilaustyönä otetut kuvat tulevat myös huomattavasti halvemmaksi. (Hassinen 2013, 6.)

Luonnonvarojen kartoitus on myös yleistymässä. Lennokkeja on käytetty menestyksellisesti mm. peltojen tarkastuksiin. Ilmakuvista voidaan helposti

päätellä kasvuston kunto ja mahdollinen lannoitustarve. Kasvien taudit voidaan havaita esimerkiksi infrapunakuvissa paremmin kuin ihmissilmä erottaa. Lennokkien ilmakuvista on tulkittu metsien piirteitä ja esimerkiksi pesivien lintujen määriä. (Hassinen 2013, 7.)

Valvonta-, tarkastus- ja etsintätehtävät soveltuvat hyvin lennokeille. Lennokki voi lähettää videokuvaa reaaliajassa tai siihen voidaan asentaa esimerkiksi lämpökamera. Sähkölinjojen tarkastus sekä pelastustehtävät ovat myös mahdollisia, mikäli ilmatila suljetaan lennon ajaksi ja lennokki voidaan lennättää näkösaiteen ulkopuolelle. (Hassinen 2013, 8.)

Lennokkeja ja koptereita on käytetty esimerkiksi hakekasojen tilavuuslaskentaan ja hiekkamonttujen mittaamiseen. Suuresta määrästä vierekkäin otettuja kuvia riittävällä sivupeitolla voidaan luoda kohteesta kolmiulotteinen malli siihen tarkoitetuilla tietokoneohjelmilla. Näistä malleista kyetään laskemaan pinta-aloja ja tilavuuksia.

Koska ilmailusäännöt rajoittavat UAV-laitteilla lentämistä, nykytekniikalla pystytään kuvaamaan vain 20–100 hehtaaria aluetta kerralla. (Hassinen 2013, 9.)

2.5.3 UAV-lainsäädäntö

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on antanut 9.10.2015 toistaiseksi voimassa olevan määräyksen kauko-ohjattujen ilma-alusten ja lennokkien lennättämisestä. Tässä määräyksessä miehittämätön ilma-alus ja lennokki eroavat toisistaan niiden käyttötarkoituksen perusteella. Lennokki on harastus- tai urheilutarkoituksessa käytettävä ilman ohjaajaa ilmassa liikkuva laite. Miehittämättömällä ilma-aluksella tarkoitetaan ilmassa liikkuvaa ohjaajatonta laitetta, jolla suoritetaan tutkimusta, mittauksia tai valokuvauksia. (Trafi n.d.)

Alla olevassa osiossa on käsitelty Trafian OPS M1-32 ilmailumääräystä ja paneuduttu siihen siten, että lukija ymmärtää miehittämätöntä ilmailua koskevat määräykset ja vaatimukset kyllin hyvin voidakseen muodostaa käsityksen tämän ilmailualan nykytilanteesta.

Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen

Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ei vaadita lentotyölupaa, mutta käyttäjän on ilmoitettava Trafille omat tietonsa, aluksen tekniset perustiedot, toiminnan laatu ja laajuus ja aiotaanko toimintaa harjoittaa asutuskukun tai väkijoukon yläpuolella. Ilmoitus tehdään ennen lennon suorittamista. Kauko-ohjatusta lennosta vastaavan on oltava vähintään 18-vuotias. (Trafi 2015.)

Lennot on suoritettava siten, ettei niistä aiheudu meluhaittaa tai vaaraa ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen. Lennot eivät myöskään saa häiritä viranomaistyötä. Ilma-aluksesta on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteistiedot. Ilma-alusten lennättäminen lentokenttien läheisyydessä

on kielletty. Aluksen on väistettävä kaikkia muita ilma-aluksia. (Trafi. 2015.)

Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennosta on tallennettava sen aika, paikka, lennosta vastaava, aluksen tiedot, onko kyseessä näköyhteyteen perustuva lento vai sen ulkopuolella tapahtuva lento sekä lennon luonne. Tiedot tulee säilyttää kolmen vuoden ajan. (Trafi 2015.)

Kun lento tapahtuu alueella, jota ei ole rajoitettu muulta ilmailulta, on noudatettava seuraavia määräyksiä:

- Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoonlähtömassa on enintään 25 kg.
- Käytön on oltava näköyhteyteen perustuvaa toimintaa.
- Käytettäessä kauko-ohjaustähystäjää on kauko-ohjaajalla ja kauko-ohjaustähystäjällä oltava yhteydenpitoaan varten luotettava viestintäväline, mikäli suora puheysteys ei ole mahdollinen.
- Lennätyskorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta.
- Lennättäminen alempana kuin tehtävän edellyttämällä korkeudella ei ole sallittu.

Asutuskeskuksen tai väkijoukon päällä lentäminen on sallittua silloin, kun aluksen paino on enintään 7 kg. Lentokorkeuden tulee olla sellainen, että hätälasku voidaan suorittaa niin, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille mahdollisimman pieni. Tällaisista lennoista on myös laadittava turvallisuusarviointi sekä kirjallinen toimintaohjeistus. (Trafi 2015.)

Lennoikkitoimintaa, eli harrastus- tai urheilukäytössä olevaa ilma-alusta koskevat vaatimukset ja määräykset eroavat jonkin verran tässä käsitellyistä miehittämättömien ilma-alusten määräyksistä. Lennokkeja ja ilma-aluksia koskeviin säädöksiin on mahdollista perehtyä lisää Trafian määräyksen OPS M1-32 kautta. (Trafi 2015.)

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Ensimmäisenä oli selvitettävä, mistä saadaan UAV-laite, jolla pystyy tuottamaan georeferoituja kuvia. Tähän käyttöön ei sovellu tavallinen harrasteilmakuvaukseen tarkoitettu kopteri, koska tarkoituksena oli tuottaa paikattietosidonnaisia 3D-malleja.

Hämeen ammattikorkeakoulu on hankkimassa Videodrone Finland Oy:n valmistamaa ammattikäyttöön tarkoitettua X4L-kuvauskopteria. Opinnäytetyön aikataulusta johtuen tätä hankintaa ei ehditty odottaa, joten tutkimus toteutettiin vuokratulla X4L-kuvauskopterilla. Kuvauslennon kustansi Hämeen ammattikorkeakoulu biotalouden ja yhteisten palveluiden johtajan Tapani Pöykön päätöksellä.

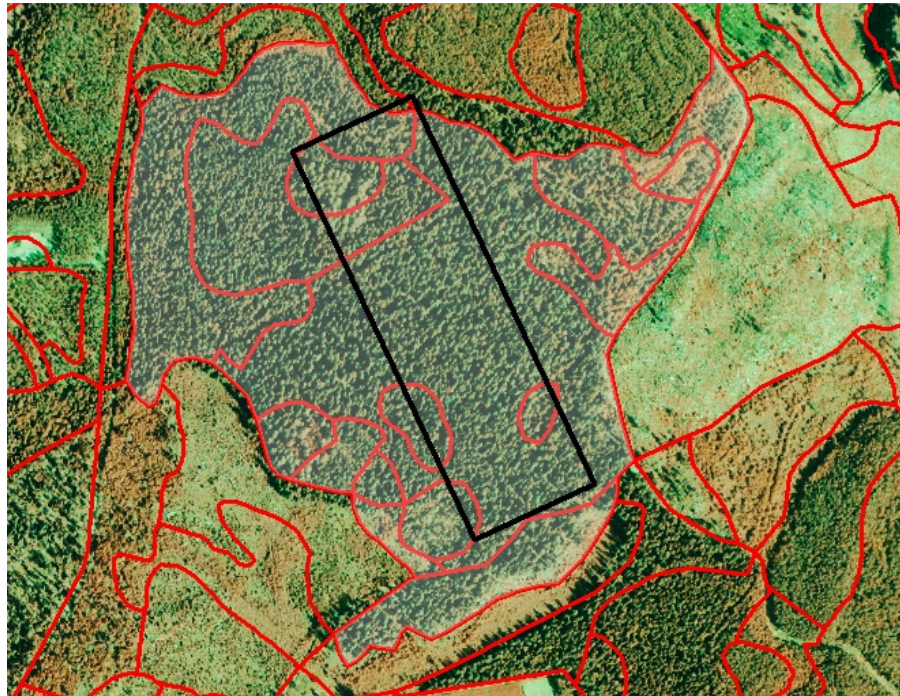
HAMK:n Mustialan yksikössä UAV-kuvauslentoja tarjoava Coetus-osuuskunta suoritti ilmakuvauksen. Coetuksen edustajien Oskari Virtasen ja Timo Jarmusen kanssa sovittiin kuvauslennon aikataulu.

3.1 Tutkimusalue

Tutkimusalueena oli Evon opetusmetsän itälaidalla sijaitseva Tuohimetsä. Metsikkö on lehtomaisella kankaalla kasvavaa, yli 100 vuotiasta järeää kuusikkoa, jonka mattona on paksu sammalkerros. Tanakat kuuset ovat pääosin ränsistyneitä vanhuksia, joiden rungoissa on selvät merkit vahvasta kirjainajasta populaatiosta. Siellä täällä on tuulenskaatojen muodostamia aukkoja, jotka avaavat päivänvalolle pienen ikkunan pohjakerrokseen. Aukot sallivat uuden kuusisukupolven kehittymisen. Kuusikon keskellä pylväinä kohoaa massiivisten lehtikuusten joukko. Lehtikuuset peittoavat ympäröivän kuusikon niin läpimittansa kuin korkeutensaakin puolesta. Alueen eteläosassa on päätehakattu kuvio. Kuviolla kasvaa nyt nuorta taimikkoa, jonka seassa on muutama Evolle tunnusomainen järeä mänty.

Tuohimetsästä kuvattiin noin 10 hehtaarin suorakulmainen alue jonka sivujen pituudet olivat noin 200 m ja 500 m. (Kuva 5. s. 17.) Alue ulottui Tuohimetsäntieltä aina lehtikuusiryhmän tuntumaan. Kuvausalue kattoi näin ollen nuorta taimikkoa, pienaukkoja sekä täysikasvuista metsää.

Tuohimetsä valittiin kohteeksi juuri sen ainutlaatuisien piirteiden ja vaihtelevuuden takia. Näin voitiin selvittää miten menetelmä toimii niin sankassa kuusikossakin kuin nuoressa taimikossa.



Kuva 5. Tuohimetsän kuviointi ja suunniteltu tutkimusalue.

3.2 UAV-kuvauslento

Kuvauslento suoritettiin 28.12.2015 aurinkoisella ja tyyneellä, noin -10 asteen pakkassäällä. Ajankohdasta huolimatta maasto oli täysin lumeton, mutta varsinkin lehtipuut olivat kuuran peitossa. Lumettomat sääolosuhteet ovat tärkeitä kuvausten kannalta, jotta vältetään lumen aiheuttamalta 3D-mallin vääristymiseltä. Vaikka aurinkoinen sää edesauttoi kuvien onnistumisesta, olivat valokuvausolosuhteet heikot vuodenajasta johtuvan aurinkokulman takia.

3.2.1 Kalusto

Työvälineenä käytettiin suomalaisen Videodrone Finland Oy:n valmistamaa Geodrone X4L -quadkopteria. Geodrone on suunniteltu maanmittaukseen, kartoitukseen sekä metsä- ja maatalouden sovelluksiin. Valmistajan mukaan kopteri on ”kokoluokassaan ylivoimainen”. Lentopaino kuvauskunnossa on 4 kg ja yhdellä kuvauslennolla voidaan kuvata noin 50 hehtaaria.

Tässä tapauksessa kopteri oli varustettu Sonyn ILCE 6000 24Mpix digitaalisella järjestelmäkameralla. Kamera saa virtansa kopterin ajoakusta, ja sillä voidaan päästä jopa 3,5 cm/pix tarkkuuteen 150 metrin korkeudelta. Kuvien ottaminen tapahtuu automaattisesti, jonka jälkeen kuvat voidaan purkaa kameran muistista ja lentodata kopterista. Pakettiin kuului lisäksi akut sekä kopterin näytöllä varustettu ohjainyksikkö. Kaikki kulkivat kätevästi samassa laatikossa. (Kuva 6. s. 18.) Mukana tulivat myös ohjeet lennon toteuttamiseen.



Kuva 6. Geodrone ja oheistarvikkeet pehmustetussa alumiinisalkussa.

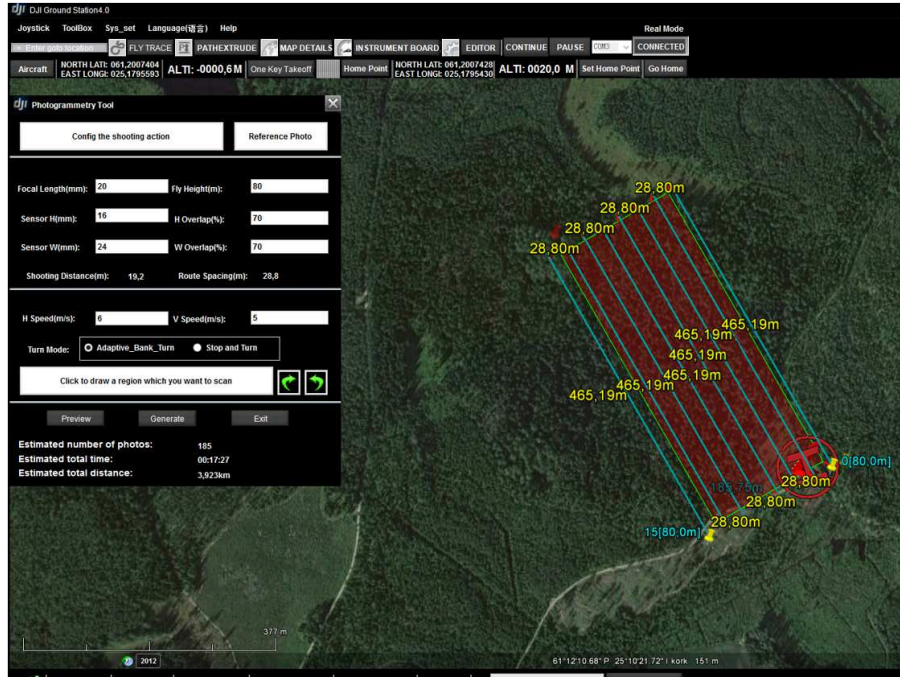
3.2.2 Lennon suunnittelu

Suunnittelu alkoi maastokäynnillä. Kohde rajattiin silmämääräisesti siten, että kiinnostavimmat alueet saadaan kameran alle. Tavoitteena oli saada mukaan sekä pienaukkoja että järeää puustoa. Maastokäynnin yhteydessä alueelle sijoitettiin neljä kappaletta referenssipisteitä. Pisteet asetettiin alueen kulmiin ja ne olivat kooltaan 1 m x 1 m valkoisia ristejä. Pisteiden koordinaatit ja niiden korkeus merenpinnasta tallennettiin maastotallentimeen.

Lennon suunnittelu tehdään tietokoneella olevalla lennonsuunnitteluohjelmalla. Kuvattava alue valitaan karttapohjasta, jonka jälkeen säädetään lentokorkeus, kuvapeitto ja kameran asetukset.

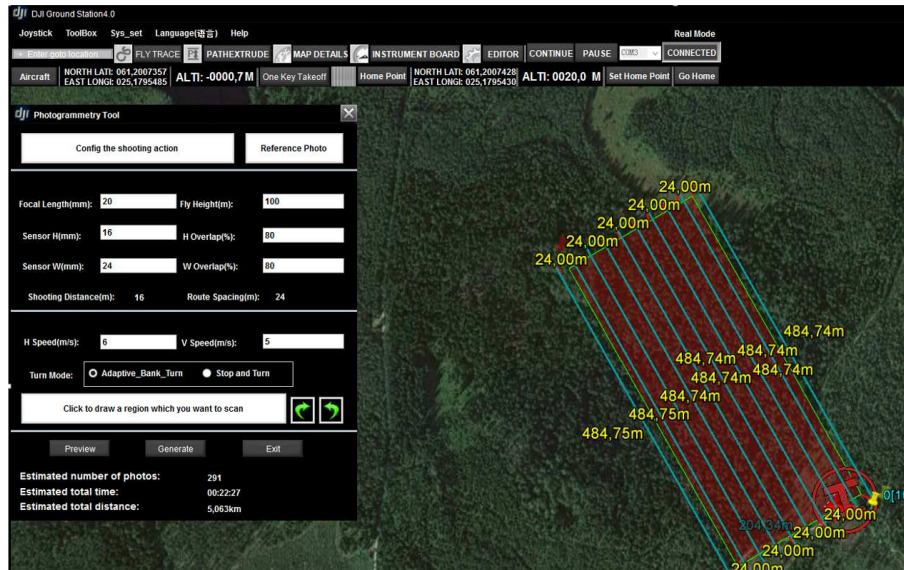
Kuvauspäivänä suoritettiin kaksi lentoa eri korkeuksilta, ensimmäinen 80 metristä ja toinen 100 metristä. Lentosuunnitelma tehtiin Google Maps -pohjaisella DJI Ground Station 4.0 -ohjelmalla.

Kuvauslentoon 80 metristä asetettiin 70 %:n pysty- ja sivupeitto. (Kuva 7.) Nousunopeudeksi määritettiin 6 m/s ja lentonopeudeksi 5 m/s. Linssin polttoväli oli oletusasetuksena 20 mm. Kuvanottoväliksi määräytyi 19,2 metriä ja lentolinjojen välimatkaksi 28,8 metriä. Ohjelma estimo i etukäteen lennon statistiikan. Tällä suunnitelmalla kuvia tulee 185 kappaletta, lentoaika on 17 min 27 s ja lennon kokonaispituus 3,923 kilometriä. Koneen nousu- ja laskeutumisaikaksi määritettiin kuvion itäinen kulma.



Kuva 7. Lentosuunnitelma 80 metristä.

Toiseen lentosuunnitelmaan 100 metrin korkeudelta (Kuva 8. s. 20.) tehtiin muutamia muutoksia. Kameran valotusta säädettiin ja kuvien pysty- ja sivupeitto nostettiin 80 %:iin. Muuten asetukset olivat samat. Näillä asetuksilla ohjelma laski kestoksi 22 min 27 s ja lentomatkaksi 5,063 kilometriä. Kuvien määräksi ohjelma arvioi 291 kappaletta.



Kuva 8. Lentosuunnitelma 100 metristä.

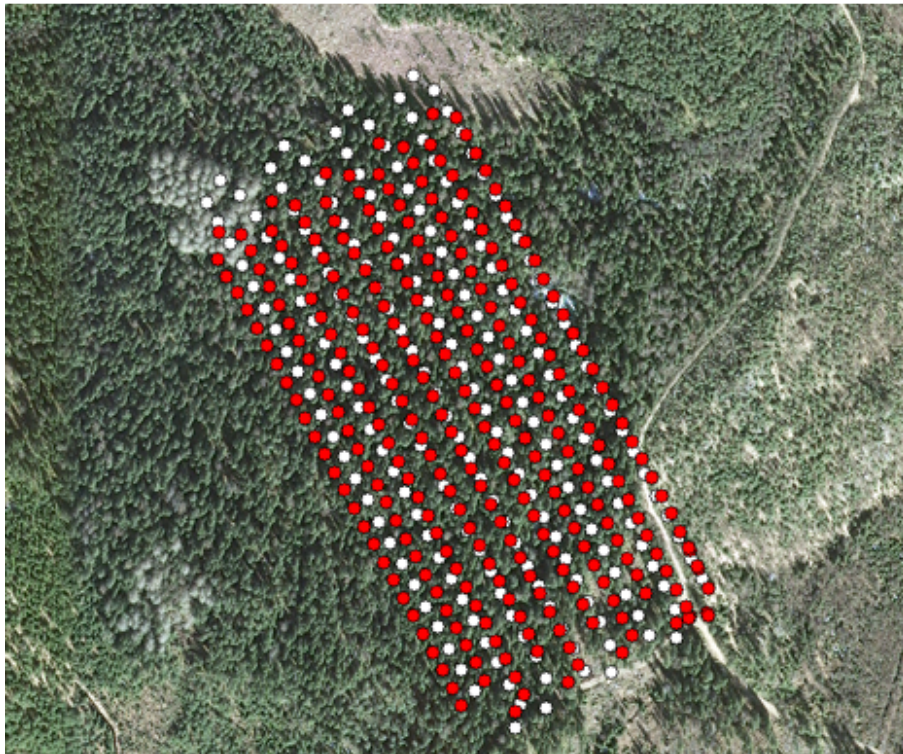
3.2.3 Lento

Aluksi kopteriin asetettiin akku ja kopteri kalibroitiin pyörittämällä sitä hitaasti pysty- ja vaakasuuntaan. Kun GPS-yhteys oli saatu, testattiin kameran toiminta. Tämän jälkeen muodostettiin yhteys tietokoneen ja Geodronen välille. Kopteri oli lentovalmis. (Kuva 9. s. 21.)

Aluksi kopteri nostettiin manuaalisesti haluttuun lentokorkeuteen, jonka jälkeen autopilotti voitiin kytkeä päälle tietokoneelta. Lentoa voitiin seurata sekä tähyttämällä, että tietokoneen näytöltä reaaliajassa. Pilotin oli kuitenkin oltava koko lennon ajan ohjainyksikkö hallussaan mahdollisten vaaratilanteiden varalta. Lentosuunnitelman tultua päätökseen kone palasi ennalta määrättyyn pisteeseen lähelle nousupaikkaa, jonka jälkeen kone otettiin manuaalisesti käyttöön laskeutumista varten. Lento suoritettiin lähes kokonaan autopilotin avulla. Kopteria lennettiin manuaalisesti ainoastaan nousun ja laskeutumisen aikana. Päivän aikana otettiin lähes 500 kuvaa. (Kuva 10. s. 21.)



Kuva 9. Kenttätoimisto Tuohimetsän kupeessa.



Kuva 10. Kuvanottopisteet Arcmap-ohjelmassa. Valkoiset pisteet 80 m ja punaiset pisteet 100 m korkeudesta.

3.3 Kuvauslennosta saatu aineisto

Kuva-aineistoa kertyi 80 metrin korkeudesta 206 kuvaa ja 100 metrin korkeudesta 278 kuvaa. Kuvat otettiin kamerasta JPG-tiedostona. Silmämääräisesti kuvien tarkkuus oli enemmän kuin riittävä. Koska kuvaus tapahtui suhteellisen matalalta, oli keskusprojektiivisuudesta johtuva säteissiirtymä suuri. Tämän korjaamiseksi käytettiin kuvauksissa jopa 80 %:n peittoa. Tämä ilmiö on selkeästi havaittavissa kuvassa 11.



Kuva 11. Kuva on otettu toisella lennolla 100 metrin korkeudelta. Kuvan yläosassa erottuu selkeän valkoisena huurteinen lehtikuusijoukko.

Jokaisen kuvan paikka- ja kallistustiedot saatiin txt-tiedostona ulos kopterista. (Kuva 12.) Paikkatieto sisälsi kuvanottopisteen sijainnin WGS84-koodinaatistossa, sen korkeuden merenpinnasta sekä kameras kallistuskulmat. Kattava paikkatieto auttoi työn myöhemmissä vaiheissa.

File	Edit	Format	View	Help						
1	2	25,1795631453	61,2007478045	-1,6102809906	-2,0997717140	-1,7089643433	-108,3844538632			
2	2	25,1795623314	61,2007471753	-1,6385717649	-2,1156307709	-1,7660809465	-108,4632537556			
3	5	25,1798306123	61,2007813354	92,0460815430	-8,2317907526	-11,4280692111	12,6368548561			
4	5	25,1798246566	61,2009382115	98,7464752197	-8,0959884873	-4,8287436677	-29,0101616141			
5	5	25,1796859340	61,2010904661	100,0827331543	-7,7129093912	-4,2562865959	-33,1923131397			
6	5	25,1795446625	61,2012200540	100,4423104225	-8,6656251509	-5,3353398081	-33,7307218765			
7	5	25,1794009437	61,2013473897	100,3352661133	-9,37540660763	-6,7019485264	-33,5171965026			
8	5	25,1792552489	61,2014749222	99,8051528931	-9,3781603187	-6,996067409	-33,6647183434			
9	5	25,1791044492	61,2016008537	100,0830154419	-9,1466118137	-6,9681461846	-33,3368624331			
10	5	25,1789490860	61,2017246636	100,4029922485	-10,3296425381	-6,1140002931	-33,1818683653			
11	5	25,1788004436	61,2018501321	100,3045395333	-10,1470133202	-5,7941275932	-32,2756401115			
12	5	25,1786472254	61,2019755365	100,3409805298	-10,5657374360	-6,2947710679	-31,0947128191			
13	5	25,1784947179	61,2021010476	100,5238800049	-10,0277207621	-6,1718609600	-29,9623903982			
14	5	25,1783469275	61,2022272950	100,1692428589	-10,7229533843	-6,3640432733	-30,4541810939			
15	5	25,1781996372	61,2023539830	100,1823348999	-10,6464754761	-6,5227081408	-30,3682486681			
16	5	25,1780504345	61,2024784494	100,4038085938	-11,2482602657	-7,0194592614	-30,2909634784			
17	5	25,1778973000	61,2026041782	100,1357574463	-10,8698130891	-6,8758724634	-29,6537717156			
18	5	25,1777490494	61,2027281815	100,4535217285	-12,3559509433	-8,2906022891	-29,0502322949			
19	5	25,1776011844	61,2028549187	100,2615356445	-11,3465755562	-9,2399627252	-28,9971139137			

Kuva 12. Kopterista saatua raakadataa.

3.4 Ohjelmistot

Tietotekniikka oli tärkeä osa tätä opinnäytetyötä. Tutkimuksessa käytettiin ja kokeiltiin monia erilaisia ohjelmistoja. Kuvien käsittelyyn ja jatkojalostamiseen pohdittiin ensin erään suomalaisyrityksen ohjelmistoa, mutta yhteydenoton jälkeen ohjelma todettiin käyttöönottokynnykseltään liian korkeaksi. Lopulta opinnäytetyötä varten valittiin Agisoft Photoscan -ohjelma, jota päästiin ilmaiseksi kokeilemaan kokeiluversion kautta. Ohjelma luo digitaalisista kuvista ensin pistepilviä etsimällä ja vertaamalla kuvien yhteneviä yksityiskohtia toisiinsa. Ohjelma tuottaa lopulta kuvista yhdistävien pisteiden avulla georeferoituja kolmiulotteisia mosaiikkeja. Pistepilvistä ja 3D-malleista pystytään tarkastelemaan metsikön ominaisuuksia. Ohjelma on varsin helppokäyttöinen ja sen manuaali on melko kattava. Ohjelmaan päteekin hyvin sanonta ”easy to learn, hard to master”. Kun ohjelman toimivuudesta oli varmuus, hankki HAMK siihen lisenssin. Näin ollen ongelmien ilmetessä voitiin olla yhteydessä ohjelmiston tukipalveluun. Tukipalvelussa oltiin erittäin aktiivisia ja selvästi kiinnostuneita ohjelman kehittämisestä. Tutkimuksen aikana käytiin tukipalvelun kanssa keskustelua työn etenemisestä ja ongelmatilanteista.

Agisoftin rinnalla kokeiltiin myös Pix4D-ohjelmaa, joka on samaan käyttötarkoitukseen luotu ohjelma. Ohjelman kokeiluversion aika oli rajallinen, eikä ohjelmassa havaittu mitään lisäarvoa Agisoftiin verrattuna. Pix4D-ohjelman käyttöliittymä oli varsin yksinkertainen ja helppo omaksua.

3.5 Kuvien käsittely Agisoft-ohjelmalla

Ilmakuvia ei Agisoft-ohjelmaa varten tarvinnut käsitellä. Halutut kuvat voitiin suoraan avata ohjelmassa, jossa tarvittavat muokkaukset tehtiin. Ohjelmassa tarkistettiin kuvien laatu ennen prosessin aloittamista ja kaikki kuvat ylittivät laadullisesti ohjelman suosittelman minimivaatimuksen.

3.5.1 Kuvien sijaintitietojen käsittely

Varsinkin tutkimuksen alussa käytiin läpi useita ohjelmia aineiston editointiin liittyen. Aluksi pyrittiin yhdistämään kuvat ja paikkatieto Geosetter-ohjelmalla. Paikkatiedon raakadata ei kuitenkaan sellaisenaan kelvannut ohjelmaan vaan sitä käsiteltiin ensin Microsoft Excelin ja Notepad++-ohjelman avulla. Tämän jälkeen paikkatieto vietiin DNRGarmin-ohjelmaan, jossa txt-tiedosto voitiin muuttaa gpx-tiedostoksi. Gpx-muodossa tiedosto kelpasi Geosetteriin ja tiedot yhdistettiin kuviin. Jokainen kuva sisälsi itsessään nyt omat paikkatietonsa.

Merkityt kuvat siirrettiin Agisoftiin, mutta ohjelma ei tunnistanut sijaintitietoja, joten niitä ei saatu lainkaan toimimaan. Vaihtoehtoinen lähestymistapa osoittautui lopulta toimivammaksi keinoksi. Paikkatiedon raakadata muokattiin Agisoftiin sopivaksi käyttäen Exceliä ja Notepadia. Tiedosto onnistuttiin tuomaan ohjelmaan ja jokainen kuva sai sijaintinsa. Ensin sijainneista tuntui vain olevan haittaa, sillä ohjelma ei kyennyt luomaan kuvista

lainkaan pistepilveä. Ilmiötä tutkittaessa havaittiin, että paikkatietoaineistossa olevat kameran kallistuskulmat olivat sekoittuneet keskenään. Ongelman korjaamisen jälkeen ohjelma lähti toimimaan.

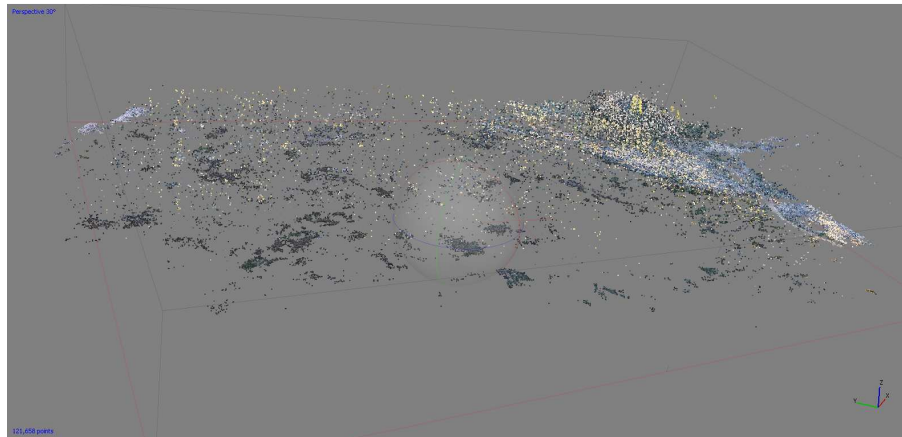
Agisoft-ohjelmisto kykenee käsittelemään kahdenlaista kuvien sijaintitietoa. Kuvissa on oltava valmiiksi sijaintitiedot ikään kuin metatietona. Tätä tekniikkaa hyödynnetään yleisesti esimerkiksi älypuhelimissa, joissa kuvaan tallentuu automaattisesti sen ottopaikka. Toinen vaihtoehto on tuoda sijaintitieto ohjelmaan erillisenä aineistona, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin.

3.5.2 Kuvien linjaan asettelu

Ensimmäinen vaihe pistepilven luomisessa on kameroiden linjaaminen eli Camera aligning. Tässä vaiheessa ohjelma arvioi kameroiden eli kuvanottopisteiden sijainnin kuvanottohetkellä.

Halutut kuvat syötetään Agisoft-ohjelmaan, jonka jälkeen ne niin sanotusti linjataan. Linjauksessa kuvat sijoittuvat linjaan tiedetyn tai arvioidun kuvanottopisteen ja kuvien vastinpisteiden avulla. Näin saadaan näkyviin ensimmäinen pistepilviaineisto, kuten kuvassa 13. Tämä pistepilvi on hyvin samankaltainen kuin laserkeilausaineistoista saatava pistepilvi, jolloin on mahdollista soveltaa aluepohjaista tulkintaa. Tulkinta vaatii riittävän määrän referenssikoealoja.

Prosessia voidaan nopeuttaa syöttämällä ohjelmaan kuvien sijaintitiedot, jolloin ohjelman on helpompi arvioida kameroiden sijainti. Jotta ohjelmalla on tarpeeksi yhteneviä vastinpisteitä, joista valita, on ilmakuvien peitto oltava runsas. Jopa yli 80 %:n peitto on suositeltavaa.

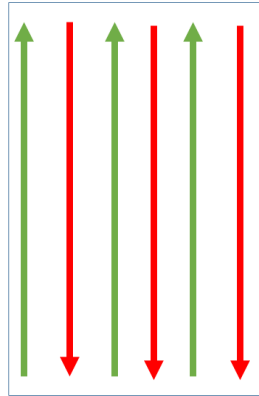


Kuva 13. Ensimmäinen pistepilviaineisto.

Ohjelmisto ei suostunut ensin luomaan yhtenäistä mosaiikkia koko aineistosta. Ohjelma yhdisti kuvat, jotka oli lennetty etelästä pohjoiseen kun taas pohjoisesta etelään suunnassa lennetyt kuvat eivät samaan mosaiikkiin yhdistyneet. Kuvat, jotka otettiin kopterin lentäessä alueen takalaitaa kohti,

yhdistyivät siis keskenään. Kuvat, jotka otettiin kopterin lentäessä takalaidalta kohti etulaitaa, eivät tähän aineistoon yhdistyneet. (Kuva 14.) Molemista lentosuunnista voitiin tehdä oma aineisto mutta yhtenäistä aineistoa ei syntynyt.

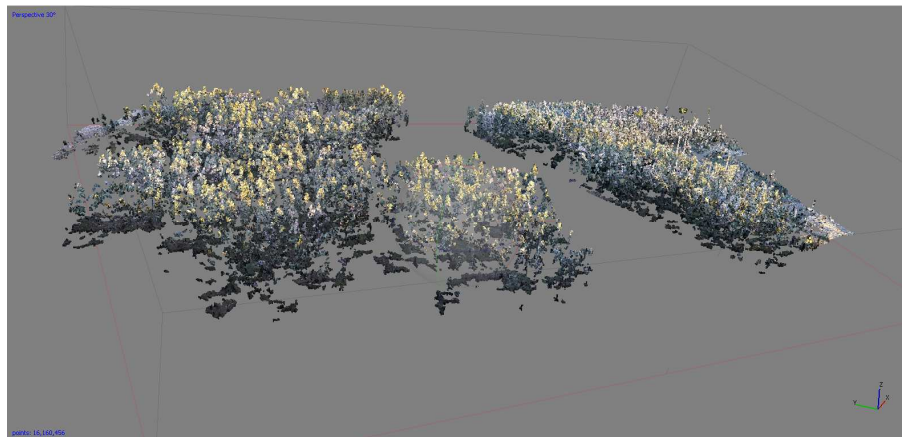
Koska lentokuvio oli edestakainen, noin puolet kuvista jäi aina linjaamatta. Kuvat jaettiin kahteen käsiteltävään kokonaisuuteen, niiden lentosuunnan mukaan. Näin onnistuttiin luomaan samalta alueelta kaksi pistepilveä. Eriksien käsitellyt aineistot voitiin yhdistää keskenään ja näin saatiin kattava kuvaus koko alueesta. Kuvien sijaintitiedot ovat ensiarvoisen tärkeitä, kun aineistot yhdistetään. Ilman sijaintitietoja tämä ei onnistu lainkaan.



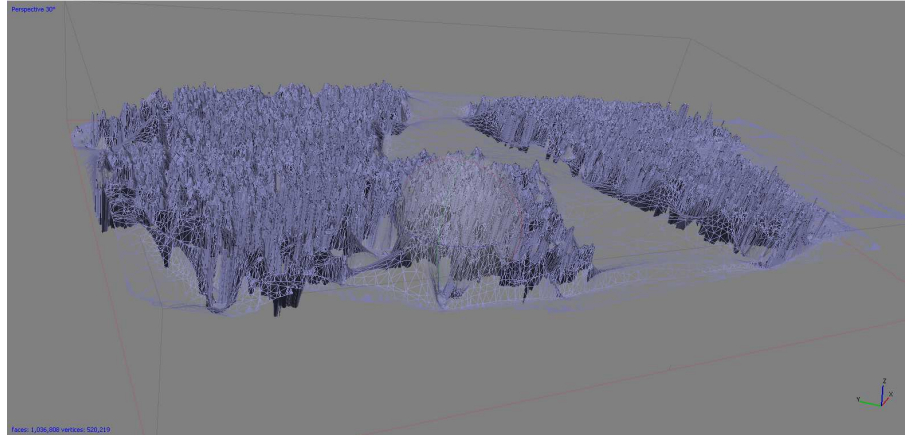
Kuva 14. Joka toisen lentolinjan kuvat jäivät ohjelmassa asettumatta.

3.5.3 Tihennetty pistepilvi ja tekstuuri

Kameroiden linjaamisen eli pistepilven luonnin jälkeen rakennetaan tihennetty pistepilvi, joka mahdollistaa myöhemmin tekstuuri-pintojen liittämisen 3D-malliin. Tihennetystä pilvestä (Kuva 15.) voi jo helposti havainnoida maaston muotoja ja yksittäisiä puita. Tämän jälkeen luodaan mesh. Mesh on pisteiden pohjalta luotu verkkomainen rakenne. Tämä verkko siis yhdistää pisteet kokonaisuudeksi, yhtenäiseksi pinnaksi. (Kuva 16. s. 26.)

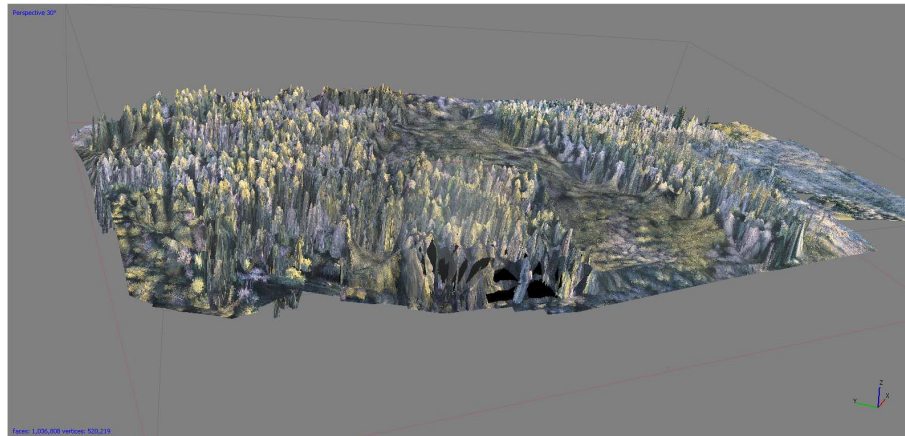


Kuva 15. Tihennetty pistepilvi.



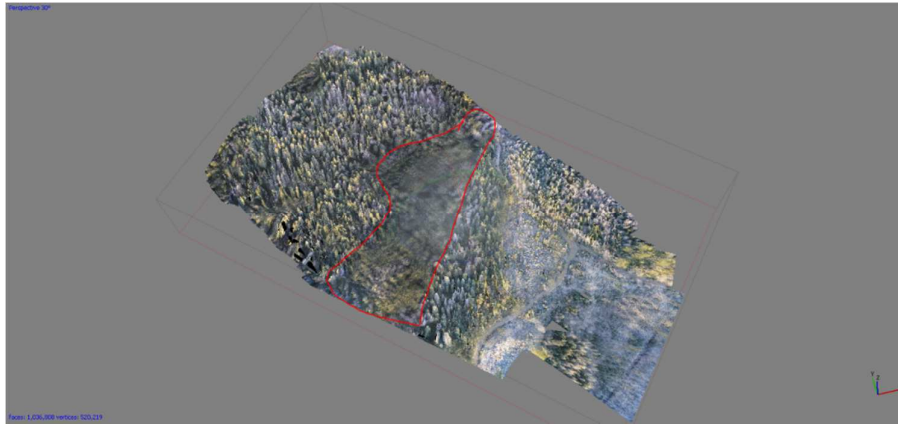
Kuva 16. Mesh eli verkkomainen rakenne.

Verkon päälle voidaan luoda tekstuuri, jonka ohjelma tuo ilmakuvista. Tämä on tehty kuvassa 17. Tekstuuri värittää mallin ilmakuvien perusteella. Näin 3D-malli saadaan visuaalisesti paremmin kuvastamaan aluetta sen näyttäessä todenmukaisemmalta.



Kuva 17. 3D-malli johon on tuotu kuvien tekstuuri.

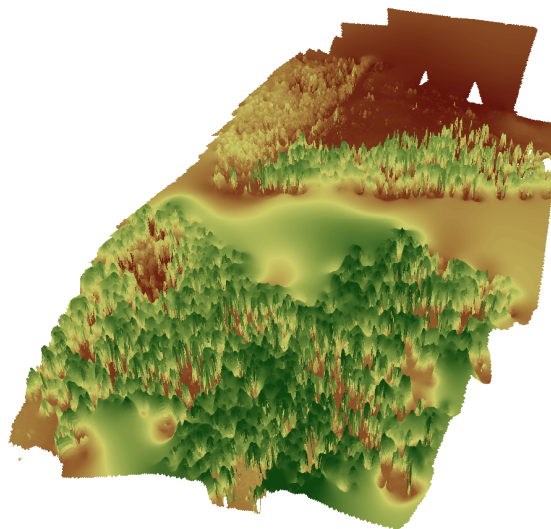
Ongelmia tuotti tiheimmän metsikön mallinnus, jossa ohjelma ei onnistunut välillä lainkaan. Tästä syystä lopullinen malli jäikin aina vajaaksi. (Kuva 18. s. 27.) Ohjelma ei löytänyt tarpeeksi yhteneviä pisteitä kuvista, jotka oli otettu tiheimmän alueen yläpuolelta. Muuten kokonaisten 3D-mallien keskelle saattoi jäädä täysin mallintumattomia reikiä. Aukkoisuudesta johtuen maastoon sijoitettuja georeferenssipisteitä ei löytynyt valmiista mallista lainkaan. Niitä ei siis hyödynnetty tässä tutkimuksessa.



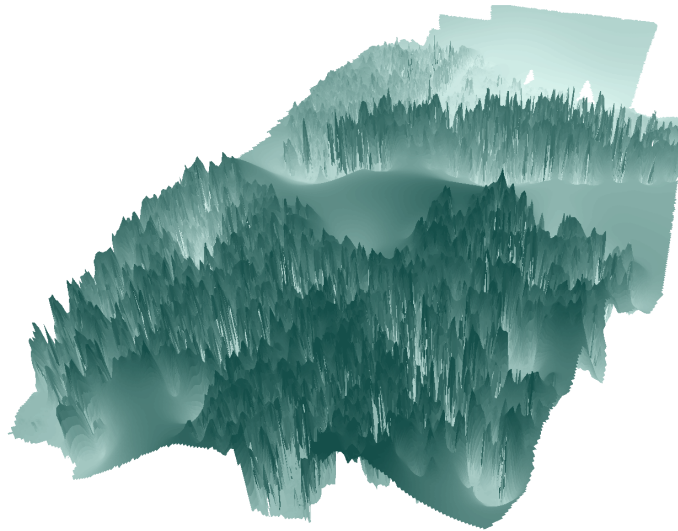
Kuva 18. Mallin keskiosassa mallintumaton aukko. Maastossa tällä alueella on tiheää kuusikkoa.

3.5.4 Kasvillisuuden pintamallin luominen

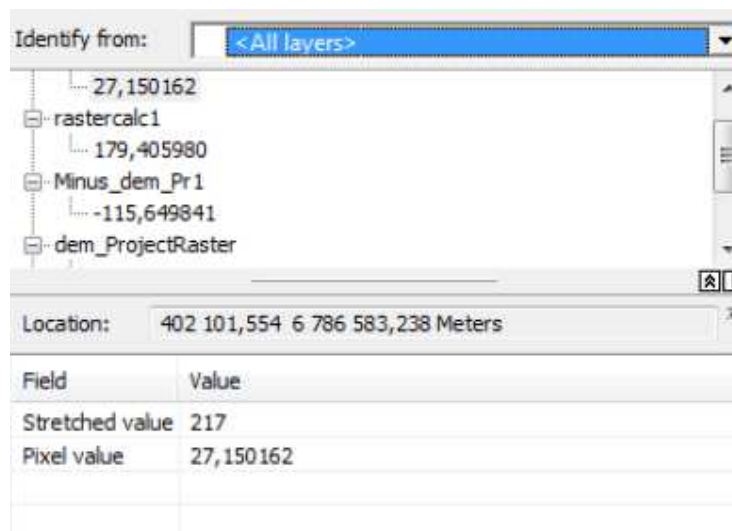
Malleista on mahdollista tuottaa vielä kasvillisuuden pintamalli. Tämä tapahtuu valinnalla ”Export DEM”. Malli siirrettiin rasterina Arcmap-ohjelmaan. Vaikka DEM:lla tarkoitetaan usein maanpinta mallia (Digital Elevation Model), toimii se usein myös alueen pintamallin yleiskäsitteenä. Todellisuudessa DEM:lla tarkoitetaan tässä DSM:a, eli niin puiden kuin maaperänkin pintamallia. Puiden korkeudessa on lisäksi maanpinnan korkeus merenpinnasta. Puuston todellinen korkeus saadaan vähentämällä tuotetusta pintamallista esimerkiksi maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon pohjautuva maanpintamalli. Erotukseksi jää puuston korkeusmalli eli CHM. (Kuva 19 ja Kuva 20. s. 28.) Puuston korkeusmallista voidaan tarkastella puiden korkeuksia esimerkiksi ArcScene-ohjelmalla. (Kuva 21. s. 28.) Oteuissa ilmakuvissa päästiin jopa alle viiden sentin pikselitarkkuuteen. Tämä mahdollistaisi hyvinkin tarkkojen mallien luomisen oikeissa olosuhteissa.



Kuva 19. Arcmap-ohjelmassa tuotettu CHM.



Kuva 20. Kuvassa puuston piirteet ovat korostettuna.

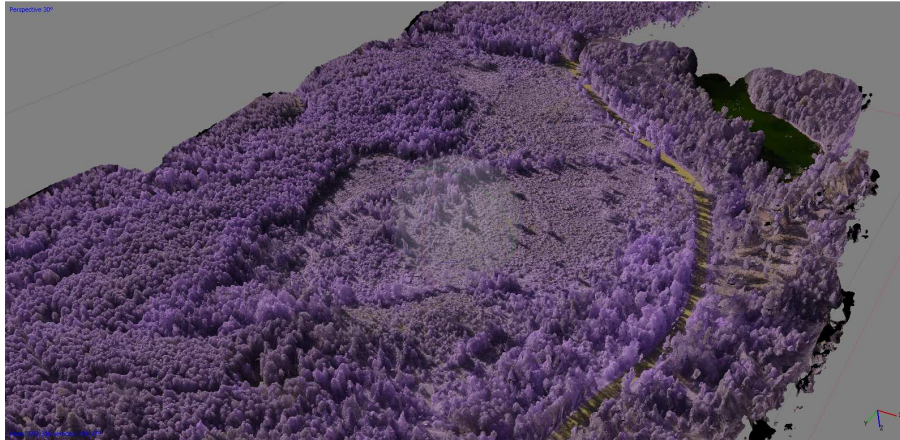


Kuva 21. Kuvassa "pixel value" ilmaisee kyseisen pikselin korkeuden maan pinnasta. Tässä tapauksessa kyseessä on yksittäisen puun korkeus metreinä.

3.5.5 LUKE:n kuvat

Vertailuaineistona käytettiin Evon alueelta otettuja Luken ilmakuvia. Ilmakuvat saatiin Sakari Tuomiselta, joka on suorittanut UAV-lentoja alueella. Aineisto oli väärävärikuvia noin 170 metrin korkeudesta. Kuville tehtiin samat toimenpiteet kuin omalle aineistollemme. Täysin saman prosessin aikana kuvat käyttäytyivät jälleen siten, että puoli aineistoa jäi pistepilven luonnissa ohjelmalta käyttämättä. Lentosuunta vaikutti siis täysin samalla tavalla kuin omankin aineistomme kohdalla. Aineisto jouduttiin jälleen jakamaan lentosuunnittain käsiteltäviin osiin, joista saatiin pistepilvet. Tässä aineistossa ei kuitenkaan ollut kuvien paikkatietoja, ja tämä esti näiden aineistojen keskinäisen yhdistämisen. Vertailuaineiston etuna tässä työssä

käytettyyn aineistoon nähden oli kuitenkin, ettei mallien keskelle jäänyt mallintamattomia reikiä. Tiheätkin metsiköt mallintuivat tässä aineistossa hyvin, kuten kuvasta 22 selviää.



Kuva 22. LUKE:n väärävärivärikuvista on tuotettu 3D-malli. Mallissa ei esiinny aukkoisuutta.

4 TULOKSET JA POHDINTA

Kokonaisuudessaan projekti oli tekijöilleen erittäin antoisa kokemus, koska työhön lähdettiin ilman minkäänlaista aikaisempaa osaamista aiheesta. Työ vaati paljon syventymistä sellaisiin asioihin, joita ei koulutusohjelmassa käsitellä. Lisäksi kaukokartoituksen perusteisiin syventyminen täydensi hyvin koulutuksessa saatuja oppeja.

Tulokset eivät valitettavasti olleet sellaisia kuin aluksi odotettiin. Tutkimuksen aihe oli uusi, joten tietoa oli vaikeaa löytää. Niinpä paljon oli opittava yrityksen ja erehdyksen kautta. 3D-malleja tehdään nykyään paljon UAV-laitteilla, mutta metsien mallintamisesta löytyy hyvin vähän tietoa. Tutkimukseen kulunut aika ei konkretisoidu tekstin muodossa, koska sen taustalla on tuntikausien perehtyminen UAV-laitteisiin, ohjelmistoihin, kuvien käsittelyyn, erilaisiin ohjeisiin ja Youtube-opetusvideoihin.

4.1 Laitteiston käyttöönotto

Tutkimuksessa käytetyn X4L-kopterin ja siihen liittyvän laitteiston käyttäminen oli suhteellisen helposti omaksuttavissa. Videodrone Finland Oy tarjoaa maksullisia koulutuspaketteja kyseisen laitteiston käyttämiseen. Yhteistyökumppaneillamme Oskari Virtasella ja Timo Jarmusella Coetus-osauskunnasta oli aikaisempaa kokemusta kauko-ohjattavista koptereista. Laitteisto oli myös heille uusi, joten kuvauspäivän aamu käytettiin tutustuen mukana tulleeseen ohjekirjaan.

On suositeltavaa, että tämän hintaluokan laitteiston lennättäjällä on aikaisempaa UAV-kokemusta. Kopterin ohjaus oli helppoa, mutta kaikki lennon valmisteluun ja haluttuun tuotokseen liittyvä tietopohja on oltava kunnossa,

mikäli haluaa saavuttaa hyvän lopputuloksen. Myös valokuvaamisen perusteet on oltava hallussa.

Voidaan sanoa, että pienistä ongelmista huolimatta kaikki kuvauspäivänä tehty valmistelu ja toteutus on helppoa, jos aikaisempaa kokemusta löytyy. Laitteistoa ei ole rakennettu aloittelijalle. Kokemusta kannattaa kartuttaa ensin harrastekoptereilla sekä perehtymällä ilmakuvauksen ja paikkatiedon perusteisiin.

4.2 Ohjelmiston toimivuus

Opinnäytetyössä sovellettiin useita eri ohjelmistoja. Pääosassa oli Agisoft Photoscan, jonka avulla kuvista muodostettiin 3D-malleja ja kasvillisuuden pintamalli. Ohjelma oli helppokäyttöinen ja toimiva. Sen potentiaalia rajoitti kerätyn aineiston laatu. Kokonaisuudessaan toimivuutta on hankala juuri tästä syystä arvioida, sillä ei ole varmaa, mitkä ongelmat johtuivat itse ohjelmistosta ja mitkä aineiston laadusta.

Varmaa on se, että paremmin ohjelmaa varten optimoidulla aineistolla päästään huomattavasti parempiin tuloksiin kuin tässä tutkimuksessa päästiin. Suurimpana hyötynä on, että puustotunnusten tarkastelu on mahdollista. Ohjelmistot eivät rajoittaneet, vaan mahdollistivat huonosta aineistostakin kasvillisuuden pintamallin luomisen.

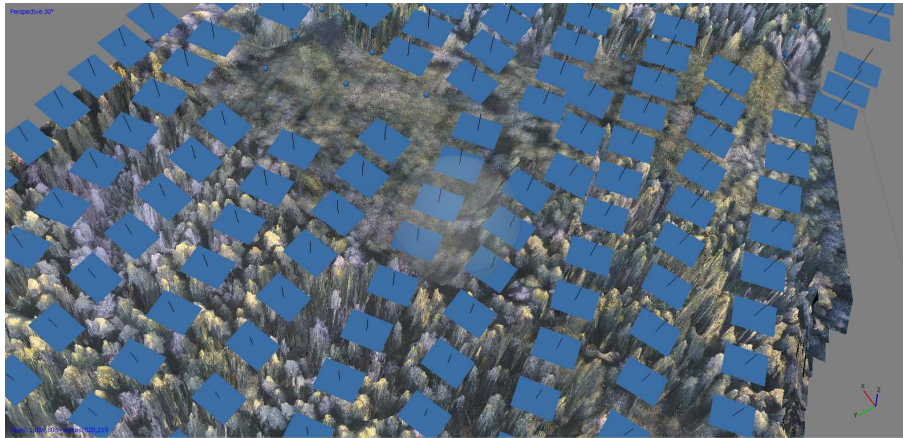
Ongelmia aiheutti myös tietopohjan puuttuminen. Jokainen jälkikäteen yksinkertaiselta vaikuttava asia vaati perinpohjaisen paneutumisen aiheeseen. Ongelmien selvittäminen vei aikaa esimerkiksi kuvista puuttuneiden paikkatietojen kohdalla. Aluksi tutkittiin vaihtoehtoa lisätä koordinaattitiedot ja kuvausajankohdan valokuviin manuaalisesti. Menetelmä onnistui Geosetter- ja DNRGarmin-ohjelmistojen avulla, mutta työ todettiin hyödyttömäksi opinnäytetyön kannalta.

4.3 Tuotettu aineisto

Kuten tuotetuista 3D-malleista näkyy, kuvat eivät olleet täysin onnistuneita. (Kuva 23. s. 31.) 80 metristä otetuista kuvista ei ole juuri mitään hyötyä, koska Kuvat olivat hämääriä ja niissä esiintyi hyvin vähän maapinta-alaa. 100 metrin aineisto osoittautui paremmaksi, joskin suuri osa otetuista ilmakuvista jäi yhä puuttumaan lopullisesta 3D-mallista. Tämä ilmeni reikinä 3D-malleissa sekä yleisenä epätarkkuutena. (Kuva 24. s. 31.) Varsinkaan omasta ilmakuva-aineistosta ei saatu hyviä malleja, toisin kuin Sakari Tuomisen luovuttamista ilmakuvista.



Kuva 23. 3D-malli tarkasteltuna Agisoft Viewer -ohjelmassa. Kuvassa risteys jossa sijaitsee komentopaikka.

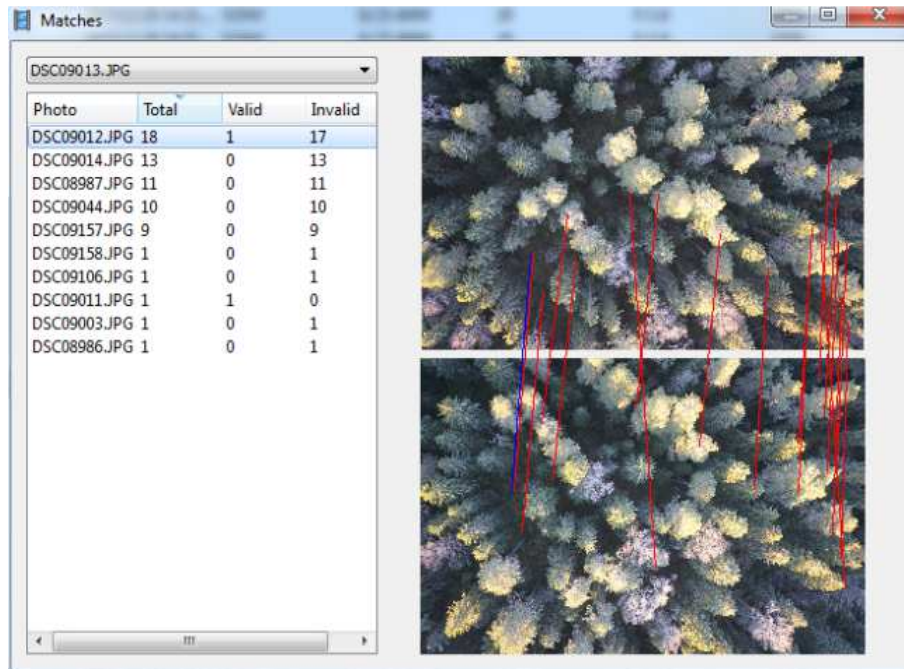


Kuva 24. Kuvassa 3D-mallin yllä leijuvat siniset suorakulmiot ovat kuvanottopisteitä.

Ratkaiseva ero tutkimuksessa käytettyjen kuvien ja Luken kuvien välillä oli kuvauskorkeus. Luken väärävärivärit olivat 170 metrin korkeudesta, jolloin Agisoft-ohjelma kykeni löytämään enemmän vastinpisteitä suuremmalta pinta-alalta. Vaikka lentokorkeuden noustessa mallien muodostaminen helpottui, oli vanha ongelma yhä läsnä. Kopterin paluusuuntaan otetut kuvat eivät edelleenkään asettuneet paikoilleen. Luken kuvista tuotetut mallit vaikuttivat paremmilta, mutta niistä puolestaan puuttui koordinaatit. Tämä esti eri mallien yhdistämisen isommaksi kokonaisuudeksi samaan koordinaatistoon.

Oma aineistomme sisälsi koordinaatit, mutta kuvat oli otettu vastinpisteiden löytämisen kannalta liian läheltä maanpintaa. Liian matalalta kuvaaminen aiheutti kuvien reunoilla voimakasta kallistussuirtymää, joka saattoi olla suurimpia esteitä vastinpisteiden löytymiselle. (Kuva 25. s. 32.) Ongelma

ilmeni varsinkin kohdissa, joissa latvuksen peite oli tiheää. Tämän kaltaisten alueiden mallinnus jäi epätarkaksi, vaikka 3D-mallien yhdistäminen onnistui WGS84-koordinaatistossa.



Kuva 25. Tässä kuvassa on toisiaan 80 % peittävistä kuvista löytynyt vain yksi kelvollinen vastin piste.

4.4 Kuvasalue ja ajankohta

Kuvasuokohde ei ollut helppo. Suomen mittakaavassa Tuohimetsän valtavaa havumetsää esiintyy harvemmin suomalaisissa talousmetsissä. Ylijäreä kuusikko aiheutti valokuviiin hämääriä kohtia, ja havupeite esti paikoitellen maanpinnan erottumisen puiden alta. Maanpinnan mallintamisen kannalta laserkeilaus vie voiton ilmakuvilta sen läpäisykykynsä ansiosta. Vuoden aika vaikutti myös valoisuuteen. Vaikka sää oli aurinkoinen ja kuvaus suoritettiin keskipäivällä, oli aurinko silti liian horisontissa, eivätkä valonsäteet päässeet tarpeeksi hyvin metsän keskelle.

Positiivisena asiana voidaan pitää, että maa oli lumeton joulukuun lopusta huolimatta. Maan pinnalla ja puissa esiintyneen kuuran vaikutusta on hankala arvioida, sillä vertailupohjaksi tarvittaisiin täysin samanlaiset kuvat kesällä otettuna. Kuurakerros saattoi auttaa valon heijastumisen muodossa, mutta toisaalta taas saattoi haitata vastin pisteiden löytymistä. Tämän kaltaiset kuvaukset tulisi toteuttaa kesällä, jolloin myös lehtipuut saadaan paremmin mukaan.

4.5 Yhteenveto

Kaikki kerätty ilmakeuva-aineisto osoittautui tavalla tai toisella puutteelliseksi. Puutteet aineistojen laadussa synnyttivät ongelmia, joihin ei heti

löytynyt suoraa vastausta. Tutkimuksen kannalta suuri osa ajasta kului näiden ongelmien selvittämiseen. Työn alkuvaiheessa epävarmaa oli, joutuivatko ongelmat aineistosta, käytetyistä ohjelmistoista vai omasta tietotaidon puutteesta.

Useiden ohjelmistojen kokeilun ja aiheen opiskelun jälkeen yhteenvetona voidaan sanoa, että metsän 3D-mallinnukseen UAV-ilmakuvista vaaditaan riittävä määrä valoisalla kesäsäällä yli 80 %:n sivu- ja pituuspeitoilla otettuja kuvia. Kuvat tulisi ottaa riittävältä korkeudelta, vähintään 150 metrin lakirajalta, joka on nykyisten ilmailusäänösten maksimikorkeus UAV-laitteille. Kuvien jatkoanalysoinnin kannalta välttämätöntä on, että kuvat sisältävät koordinaattitiedot.

On vaikea sanoa, mikä olisi optimaalinen kuvauskorkeus tässä tutkimuksessa käytetyllä laitteistolla näissä olosuhteissa. Tämän tutkimuksen perusteella hyvä lentokorkeus on mahdollisesti 100 ja 170 metrin välillä. Tässä tutkimuksessa käytetyn kameran tarkkuus tuskin riittää korkeatasoisiin tuloksiin yli 170 metrin korkeudelta. Tämä vaatii lisäksi ilmatilan väliaikaisen sulkemisen. Nykyisen lainsäädännön puitteissa sopivin lentokorkeus vaikuttaa olevan 150 metriä, jolloin ilmatilaa ei tarvitse sulkea.

Selvittämättömäksi asiaksi työn laajuudesta johtuen jäi ilmakuvista saatavien pistepilviaineistojen ja olemassa olevien laserkeilausaineistojen vertailu. Aluepohjaiseen tulkintaan perustuvaa analyysiä ei ehditty kokeilla, joten asia vaatii jatkotutkimusta. Tutkimusta vaatii myös tämän opinnäytetyön tulosten paikkansapitävyys. Mieluiten uudesta ja oikein tuotetusta ilmakeku-aineistosta saatua kasvillisuuden pintamallia pitäisi päästä vertailemaan maastossa mitattuihin referenssikoealoihin. Tällä tavoin menetelmän tarkkuutta kyetään arvioimaan ja vertailemaan. Tämä työ toimii hyvänä pohjana jatkotutkimuksia ajatellen.

4.6 Soveltuvuus metsätaloudessa

Kaikista vaikeuksista huolimatta on todettava, että puustotunnusien saaminen UAV-ilmakuvista on mahdollista ja tulee olemaan yhä tarkempaa tulevaisuudessa. Periaatteessa ilmasta kuvatuista stereokuvista on erotettavissa puiden latvusmalli, samoin kuin laserkeilausaineistosta. Ilmakuvien suurimmaksi ongelmaksi muodostuu se, että niistä on vaikea tulkita latvusmallin alla olevaa kasvustoa ja maan pinnan muotoja.

Ilmakuvatulkintaa helpottava asia on, että laserkeilaukseen pohjautuvaa maanpintamallia on tarjolla lähes koko Suomesta Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston muodossa. Olemassa olevaa maanpintamallia hyödyntämällä voidaan tulkita muutoksia kasvustossa vähentämällä maanpintamalli kasvillisuuden pintamallista. Lisäksi UAV:llä kuvattua pintamallia voidaan verrata aikaisempaan laserkeilausaineistoon, jolloin saadaan helposti selville esimerkiksi puiden kasvu tai tuulenkaadot.

Nykyiset ilmailusäädökset vaikeuttavat UAV-kartoitusta. 9.10.2015 voimaan tullut Trafin määräys kauko-ohjattujen ilma-alusten lennättämisestä

on silti yksi Euroopan liberaaleimmista. Trafin tulevaisuuden tavoitteena on toimintaa edistävä sääntely.

Tavalliset digitaaliset ilmakuvat saattavat tulevaisuudessa olla vain osana suurempaa järjestelmää. Puulajien tunnistukseen saatetaan käyttää esimerkiksi hyperspektrikameraa tai kopteriin kiinnitettävää laserkeilainta. Tämän kaltainen toiminta on jo nyt mahdollista ja tekniikan kehittyessä esimerkiksi erilaisten ravinnepuutoksien tulkinta tavallisista ilmakuvista voi olla mahdollista erilaisten tietokoneohjelmistojen avulla. Uskomme, että UAV-laitteet tulevat osaksi metsien kartoitusta lähitulevaisuudessa.

LÄHTEET

Auvinen, P., Pukkala, T., & Vesa, L. 1997. Metsän kartoitus. Helsinki: Hakapaino Oy.

Blom. n.d. Kaukokartoituksen käyttö kasvillisuustarkoituksissa. Viitattu 10.12.2015. http://newsletter.blomasa.com/newsletter/2010/december/finland/december_fi_5.htm

Haggrén, H. & Honkavaara, E. 2005. Luento: Ortokuvien tuottaminen. Aalto University School of Engineering. Viitattu 1.12.2015. http://foto.hut.fi/opetus/220/luennot/7/L7_2005.pdf

Haggrén, H. & Honkavaara, E. 2005. Viitattu 1.12.2015. Saatavissa <http://foto.hut.fi/opetus/1010/luennot/6/Luento6-Kuanesikasittely.pdf>

Hassinen A. 2013. UAV-lennokit. Ilomantsi: Itä-Suomen yliopisto.

Holopainen, M. 2002. Paikkatieto luonnonvarojen hallinnassa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002. Viitattu 1.12.2015. <http://metla.eu/aikakauskirja/full/ff02/ff023515.pdf>

Holopainen, M., Hyypä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5. Helsinki: KopioNiini Oy.

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M., & Maltamo, M. 2011. Metsän mittaus ja kartoitus. Silva Carelica 40. 3. uud. p. Joensuu: Kopijyvä Oy.

Maanmittauslaitos n.d. Ortokuva on mittatarkka ilmakuva. Viitattu 1.12.2015. <http://www.maanmittauslaitos.fi/node/12516>

Maanmittauslaitos. n.d. Laserkeilaustekniikka. Viitattu 25.11.2015. <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>

Oulun yliopisto. n.d. Aaltoliike ja optiikka. Viitattu 1.12.2015. http://www.student oulu.fi/~miklaine/yliopisto/2012-2013/K13/Aalto-liike%20ja%20optiikka/766329A_luku_13.pdf

Puuntuottaja. 2012. Laserkeilausaineiston hyödyntäminen metsätaloudessa. Julkaistu . 1.10.2012. Viitattu 26.1.2016. <http://www.puuntuottaja.com/laserkeilausaineiston-hyodyntaminen-metsataloudessa/>

Päiväinen, J. 2010. Maanmittauksen pitkä historia. Metsätieteen aikakauskirja 1/2010. Viitattu 23.11.2015. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff101084.pdf>

Ratahallintokeskus. 2003. Geodeettiset mittaustyöt. Viitattu 10.12.2015. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_d15_geodeettiset_mittaustyot.pdf

Rautiainen, M., Stenberg, P., Heiskanen, J., Möttöus, M., Korhonen, L., Peltoniemi, J., Suomalainen, J., Kaasalainen, S., & Manninen, T. Metsätieteen aikakauskirja. 2/2008. Viitattu 24.11.2015. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff08/ff082117.pdf>

Ronan P. n.d. File:EM spectrum.svg. Wikimedia Commons. Viitattu 25.2.2016. Saatavissa https://en.wikipedia.org/wiki/File:EM_spectrum.svg

SNAMP UCST Spatial Team. 24.1.2012. Sierra Nevada Adaptive Management Project. Lidar FAQs. Viitattu 25.2.2015. <http://snamp.cnr.berkeley.edu/static/documents/2010/09/21/LIDAR-FAQs.pdf>

TKJ Electronics. 2012. Roll, Pitch and Yaw. Viitattu 25.2.2016. Saatavissa <http://blog.tkjelectronics.dk/2012/03/quadcopters-how-to-get-started/>

Tokola, T., Hyppänen, H., Miina, S., Vesa, L., & Anttila, P. 1998. Metsän Kaukokartoitus. Silva Carelica 32. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Trafi. 9.10.2015. Määräys OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen. Viitattu 9.2.2016. http://www.trafi.fi/filebank/a/1444309294/3965f696e8f5d3879ef280bd1c0e6b5f/18719-OPS_M1-32_fi.pdf

Trafi. n.d. Miehitämätön ilmailu. Viitattu 9.2.2016. http://www.trafi.fi/ilmailu/miehitamaton_ilmailu

