

Viivi Karppinen

**MIEHITTÄMÄTTÖMÄN ILMA-ALUKSEN KÄYTÖN MAHDOLLISUUDET
VIRTAVESI- JA VALUMA-ALUEKUNNOSTUSTEN SUUNNITTELUSSA SEKÄ
JÄRVIEN VESIKASVILLISUUDEN KARTOITUKSESSA**

**MIHITTÄMÄTTÖMÄN ILMA-ALUKSEN KÄYTÖN MAHDOLLISUUDET
VIRTAVESI- JA VALUMA-ALUEKUNNOSTUSTEN SUUNNITTELUSSA SEKÄ
JÄRVIEN VESIKASVILLISUUDEN KARTOITUKSESSA**

Viivi Karppinen
Opinnäytetyö
Syksy 2017
Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Tekijä: Viivi Karppinen

Opinnäytetyön nimi: Miehittämättömän ilma-aluksen käytön mahdollisuudet virtavesi- ja valuma-aluekunnostusten suunnittelussa sekä järvien vesikasvillisuuden kartoituksessa

Työn ohjaaja: Toni Sankari

Työn valmistuslukupäivä ja -vuosi: Syksy 2017

Sivumäärä: 53

Virtavesi- ja valuma-aluekunnostusten suunnittelun ja järvien vesikasvillisuuden kartoituksen tärkeä vaihe on maastossa tehtävä kartoitustyö. Maastotyön helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi on pohdittu, millaisia mahdollisuuksia miehittämättömän ilma-aluksen käytöllä olisi. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mitä lisäarvoa miehittämättömällä ilma-aluksella tehtävällä kuvauksella voidaan saada valuma-alue- ja virtavesikunnostusten suunnitteluun ja järvien vesikasvillisuuden kartoitukseen. Työn toimeksiantaja oli Oulun ProAgria ry:n hallinnoima VYYHTI II -hanke. VYYHTI eli vesistöt ja ympäristö yhdessä hyvään tilaan –hanke tukee paikallista vesistökunnostajaa kehittämällä vesistökunnostajien verkoston ja kunnostushankkeiden suunnittelua helpottavia työkaluja.

Aiheeseen liittyvää tietoa etsittiin kotimaisista ja ulkomaisista lähteistä esimerkiksi tutkimusjulkaisuista. Kuvausta kokeiltiin käytännössä kosteikkosuunnittelukohteella Vihannissa ja järvikohteella Piipsjärvellä Oulaisissa. Kosteikkokohteesta tehtiin korkeusmalli ja ortomosaiikki kosteikon suunnittelun tueksi. Piipsjärven pohjoispäästä tehtiin ortomosaiikki ja kaksi erilaista panoraamaa.

Kosteikko- ja virtavesikohteissa miehittämättömän ilma-aluksen avulla saadaan ympäröivää maastoa havainnollistavia ilmakuvia suunnittelun tueksi. Ilmakuvista voidaan edelleen prosessoida ortomosaiikkeja ja korkeusmalleja. Ortomosaiikki havainnollistaa hyvin kosteikkokohteen tai virtavesikohteen ympäröivää kasvillisuutta. Korkeusmallista saadaan ajantasaista tietoa alueen korkeusvaihteluista. Miehittämättömän ilma-aluksen käytöllä ei todennäköisesti voida vähentää maastotyöhön tarvittavaa työaikaa. Järven vesikasvillisuuden kartoitukseen ilmakuvauksen miehittämättömällä ilma-aluksella sopii hyvin. Se on yksinkertaista ja nopeaa verrattuna kasvillisuuden kartoittamiseen veneellä.

Rajoittavimmat tekijät miehittämättömän ilma-aluksen käytössä ovat näköyhteyden ylläpito ilma-alukseen, sää ja akun kesto. Veden syvyysmallinnusta ortokuvilta on tehty lähinnä jokitutkimusten yhteydessä ja se vaatii paljon työtä ja kokemusta asiasta.

Asiasanat: miehittämätön ilma-alus, kaukokartoitus, fotogrammetria, korkeusmalli, ortomosaiikki

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Agricultural and Rural industries

Author: Viivi Karppinen

Title of thesis: Possibilities of using unmanned aircraft as a part of the planning at stream, river and catchment areas restorations and mapping aquatic vegetation of lakes

Supervisor: Toni Sankari

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2017 Number of pages: 53

An important point of planning the restoration of a river, stream or a catchment area is gathering field data. To simplify and speed up field work, the possibilities for using an unmanned aircraft (UA) has been considered. The aim of this thesis was to find out what kind of additional value taking photos with unmanned aircraft could bring for planning river, stream and catchment areas restorations and for the mapping of lake aquatic vegetation. The subscriber of this thesis was Oulu's ProAgria ry's VYYHTI II –project. VYYHTI i.e. getting the water system and environment conditions better together -project supports local water system renovator by developing a water system renovators network and tools to facilitate the planning of rehabilitation projects.

Information to this thesis was collected from domestic and foreign sources. Taking aerial photographs with unmanned aircraft was tested in practice at wetland planning object in Vihanti and on lake Piipsjärvi in Oulainen. An orthomosaic and an elevation model were made to support wetland planning. Two different panoramas were made at the northern end of the lake Piipsjärvi.

In wetland and river or stream environment, an unmanned aircraft will provide aerial images to support planning and visualize the surrounding terrain. Aerial photographs can be used to process orthomosaics and elevation models. The orthomosaic visualizes well the surrounding vegetation of a wetland or a stream area. The elevation model gives up-to-date information on the elevation variations in the area. The use of an unmanned aircraft is unlikely to reduce the work time required for field work. Unmanned aircraft is a good tool for mapping the aquatic vegetation on lakes. It's simple and fast compared to vegetation mapping by boat.

The most limiting factors for an unmanned aircraft are to maintain a visual contact with the aircraft, weather conditions and battery life. Water bathymetry mapping using UA imagery is mainly done in fluvial research and requires a lot of work and experience on the subject.

Keywords: unmanned aircraft, remote sensing, photogrammetry, elevation model, orthomosaic

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	MIEHITTÄMÄTÖN ILMAILU	9
	2.1 Ilma-alukset	9
	2.2 Miehitämättömiä ilma-aluksia koskeva lainsäädäntö	10
3	KAUKOKARTOITUS MIEHITTÄMÄTTÖMÄLLÄ ILMA-ALUKSELLA	12
	3.1 Ilmakuvaus	12
	3.2 Signaointi	13
	3.3 Kaukokartoitusaineiston tarkkuus	13
	3.4 Aiheeseen liittyvät aiemmat opinnäytetyöt	14
4	VIRTAVESI- JA VALUMA-ALUEKUNNOSTUKSET	16
	4.1 Kosteikko ja sen suunnittelu	16
	4.2 Virtavesi	18
5	MIEHITTÄMÄTTÖMÄN ILMA-ALUKSEN KÄYTTÖ VESIEN SYVYYSMALLINNUKSESSA	19
	5.1 Empiirinen malli	19
	5.2 Teoreettinen malli	20
	5.3 Vedenalainen fotogrammetria (through-water)	20
6	JÄRVIEN VESIKASVILLISUUDEN KARTOITUS	21
7	AINEISTO JA MENETELMÄT	22
	7.1 Tiedonhankinta	22
	7.2 Opinnäytetyössä käytettävät miehitämättömät ilma-alukset	22
	7.3 Työssä käytetyt ohjelmat ja sovellukset	23
	7.4 Kuvauslennot kosteikkosuunnittelun tueksi	24
	7.4.1 Kuuhkamonneva 1. kuvaus	26
	7.4.2 Kuuhkamonneva 2. kuvaus	27
	7.4.3 Kuuhkamonneva 3. kuvaus	27
	7.5 Kuvauslento Piipsjärvellä vesikasvillisuuden havainnoimiseksi	28
	7.6 Kuvien käsittely Agisoft Photoscanilla	30
8	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	31
	8.1 Kuuhkamonneva 1. kuvaus	31
	8.2 Kuuhkamonneva 2. kuvaus	32

8.3	Kuuhkamonneva 3. kuvaus	34
8.4	Kuvaus Piipsjärvellä	35
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	41
9.1	Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö virtavesikohteilla	42
9.2	Miehittämätön ilma-alus kosteikon suunnittelussa.....	42
9.3	Vesikasvillisuuden kartoitus miehittämättömän ilma-aluksen avulla	43
10	POHDINTA	45
	LÄHTEET.....	47

1 JOHDANTO

VYYHTI II –hankkeen tavoitteena on tukea paikallista vesistökunnostajaa esim. virtavesi- ja valuma-aluekunnostuksissa. Hankkeessa kehitetään vesistökunnostajien verkosto ja paikallisten toimijoiden käyttöön tarkoitettuja kunnostushankkeiden suunnittelua helpottavia työkaluja. Näitä testataan hankkeen aikana paikallisten kunnostajien kanssa. Lisäksi laaja-alaisten pilottialuesuunnitelmien laatiminen, omaehtoisen kunnostustoiminnan aktivoiminen ja paikallisten kunnostajien verkostoitumisen tukeminen kuuluvat hankkeen tavoitteisiin.

Virtavesi- ja valuma-aluekunnostusten suunnitteluprosessiin kuuluu kunnostettavan kohteen perustietojen selvittäminen. Selvitettäviä lähtötietoja ovat kohteen valuma-alueen ominaisuudet, kuten valuma-alueen maankäyttötiedot, maa- ja vesialueiden omistajat, mahdolliset suojelualueet ja suojeltavaat lajit sekä kaavamääräykset. Myös vesistön virtaama- ja vedenlaatutiedot, kalasto, kuormitustiedot, aiemmat toimenpiteet ja merkittävät vesistörakenteet on selvitettävä (Vesistöt kuntoon yhdessä – kunnostus- ja hoitohankeopas 2014, 9.) Tässä työssä keskitytään suunnittelutyön maastohavaintojen tekemiseen miehittämättömän ilma-aluksen avulla. Työn tavoitteena on selvittää, mitä lisäarvoa miehittämättömällä ilma-aluksella tehtävällä kuvauksella voidaan saada valuma-alue- ja virtavesikunnostusten suunnitteluun. Tavoitteena on selvittää myös, voidaanko miehittämättömän ilma-aluksen avulla säästää työaikaa ja helpottaa maastotyötä.

Kosteikkojen perustaminen on yksi mahdollinen kunnostustoimenpide valuma-aluekunnostuksissa. Havaintoja kokeillaan tehdä kosteikkosuunnittelun tueksi yläpuolisen valuma-alueen ulkoisen kuormituksen lähteistä, kasvillisuudesta, suunniteltavan alueen kosteusolosuhteista sekä kosteikkoalueen rajauksiin, uomien virtaussuuntiin ja mahdollisiin uudelleenohjauksiin liittyen.

Virtavesikunnostuksen suunnittelun osalta perehdytään veden syvyyden kartoituksen mahdollisuuksiin.

Järvien vesikasvillisuus inventoidaan yleensä rannalta tai venettä apuna käyttäen. Työssä selvitetään, voiko vesikasvillisuutta kartoittaa miehittämättömän ilma-aluksen avulla.

Miehittämättömien ilma-alusten käyttö on kasvanut nopeasti viime vuosina. Laitteiden kehitys on nopeaa ja hinnat laskevat nopeasti. Nykyään on saatavilla melko edullisesti ammattimaiseenkin käyttöön soveltuvia miehittämättömiä ilma-aluksia. Hyvää kuvanlaatua tuottavia laitteita saa alle tuhannella eurolla. Tämän takia miehittämättömien ilma-alusten käytön mahdollisuuksia pohditaan useilla aloilla.

Opinnäytetyössä selvitetään kauko-ohjattavan ilma-aluksen käytön mahdollisuuksia teoriassa ja käytännössä. Kokemuksellista tietoa etsitään artikkeleista, tutkimusjulkaisuista ja opinnäytetöistä. Käytännössä asiaa tutkitaan suorittamalla kuvauslennot valituilla alueilla, jotta saadaan tuntuma siitä, millaista informaatiota valuma-alueesta, virtavesistä ja järvien vesikasvillisuudesta voidaan miehittämättömällä ilma-aluksella saada.

2 MIEHITTÄMÄTÖN ILMAILU

2.1 Ilma-alukset

Miehittämätön ilma-alus UA (unmanned aircraft) on ilman mukana olevaa ohjaajaa lentämään tarkoitettu ilma-alus. UAS –termiä käytetään miehittämättömän ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmästä, johon kuuluu ilma-aluksen lisäksi kauko-ohjauspaikat, ohjausyhteydet ja muut järjestelmän osat. Joissain yhteyksissä käytetään myös termiä UAV (unmanned aerial vehicle). **Kauko-ohjattu ilma-alus RPA** (remotely piloted aircraft) kuuluu **miehittämättömien ilma-alusten** alakategoriaan. Se on lentotyöhön tarkoitettu ilma-alus, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta. RPAS –nimitystä käytetään kauko-ohjatun ilma-aluksen kokonaisjärjestelmästä. **Lennot** on harraste- tai urheilutarkoitukseen käytetty laite. Vain käyttötarkoitus erottaa kauko-ohjattavan ilma-aluksen ja lennokin. Sama laite voi olla kumpi tahansa, riippuen sen käyttötarkoituksesta. Jos laitetta käytetään lentotyöhön, se on kauko-ohjattava ilma-alus. Puhekielessä kauko-ohjatusta ilma-aluksesta tai lennokista käytetään myös nimitystä **drone**. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2011, viitattu 3.4.2017.)

Yleisimmät UA –laitteet ovat 4-8 roottoria pyöriväsiipisiä tai kiinteäsiipisiä tavallisen lentokoneen mallisia laitteita. UA –laitteita käytetään nykyään maisemakuvaukseen, harrastusten ja urheilun kuvaamiseen, peltojen tarkasteluun, etsintään, mittaamiseen ja kartoitukseen. Pelloilla kuvataan esimerkiksi lannoitustarvetta ja kasvitautien esiintymistä. Kadonneiden etsinnässä se toimii ainakin matalakasvuisessa maastossa apuvälineenä. Laitetta käytetään myös hakekasojen ja turveaumojen tilavuuksien laskentaan. (Hassinen 2016, 10–14, 32, 33.) UA –laitteilla on etsitty myös kuolleita poroja. Porojen kaulassa olevien kuolleisuushälyttimien signaaleja etsitään UA:lla ilmasta, jotta kuolleet porot voidaan paikantaa kaukaa (Maailmasta Oy 2017, viitattu 4.4.2017). Muita hyödyntämismahdollisuuksia on esimerkiksi infrarakentamisessa, ortokuvien tuotannossa, kaivosteollisuudessa, energiateollisuudessa, kaupunkisuunnittelussa, täydennyskartoituksessa ja erilaisissa ympäristösovelluksissa (Sippo 2013, viitattu 4.4.2017).

2.2 Miehittämättömiä ilma-aluksia koskeva lainsäädäntö

Miehittämättömiä ilma-aluksia sääntelee ilmailulaki 864/2014, Trafikin määräys OPS M1-32 ja valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista. Lisäksi kauko-ohjattujen ilma-alusten tulee noudattaa muutakin lento- ja kuvaustoimintaan liittyvää lainsäädäntöä. Aluevalvontalaki kieltää sotilaskohteiden kuvaamisen (755/2000 3:14). Rikoslaki kieltää luvattoman kuvaamisen kotirauhan suojaamassa paikassa (39/1889 12:6). Myös tietosuojaa, yleistä järjestystä ja turvallisuutta, kaupallisten oikeuksien hallintaa, liikkumisrajoituksia ja melua, luonnonsuojelua ym. ympäristöasioita koskeva lainsäädäntö tulee ottaa huomioon ennen lentotoimintaa. (Metsävainio 2016, viitattu 15.5.2017.)

Liikenteen turvallisuusvirasto on antanut kauko-ohjattujen ilma-alusten ja lennokkien lennättämistä koskevan OPS M1-32 -määräyksen, joka on tullut voimaan 1.1.2017. Määräys perustuu ilmailulakiin.

Liikenteen turvallisuusvirasto pitää rekisteriä kauko-ohjattujen ilma-alusten käyttäjistä. Käyttäjän pitää ilmoittaa Liikenteen turvallisuusvirastolle omat tietonsa, ilma-aluksen tekniset tiedot ja käyttötarkoitus ennen ilmailun aloittamista. Kauko-ohjatussa ilma-aluksessa ja lennoksissa pitää olla käyttäjän nimi ja yhteystiedot. Lennätys ei saa aiheuttaa vaaraa kellekään, ja ilma-aluksen on oltava koko ajan hallittavissa. Lennosta vastuussa olevan henkilön pitää olla vähintään 18-vuotias. Laitteessa tai ohjaajalla on oltava menetelmä varmistaa ulkopuolisille aiheutuvan vaaran minimaalisuus, jos yhteydet katkeavat tai ohjaus muuten estyy. Lentotyötä varten vaaditaan myös vastuuvakuutus kolmansien osapuolien vahinkoja vastaan. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2016, viitattu 5.4.2017.)

Kauko-ohjattujen lennoista on tallennettava tiedot ja säilytettävä ne kolmen vuoden ajan. Tallennettavia tietoja ovat esim. lennätysten päivämäärä ja paikka, ilma-aluksen päällikkö, valmistaja ja malli, lennätysten tai lennätysjärjestelmien alkamis- ja päättymisaika, millaiseen näköyhteyteen lennätys perustuu, lennätystehtävän luonne ja maininta tähystäjän käytöstä. Lennettäessä varaamattomalla alueella lentoonlähtömassa saa olla korkeintaan 25 kg, ilma-alukseen on oltava näköyhteys ohjaajalla tai tähystäjällä ja suurin sallittu lentokorkeus on 150 m. Lentoaseman läheisyydessä suurin sallittu lentokorkeus on 50 m, kun etäisyys on vähintään 5 km. Alle 5 kilometrin päässä kiitotiestä ei saa lentää miehittämättömällä ilma-aluksella ollenkaan ellei ole saanut lupaa lennonjohdosta. Joka tapauksessa lentoasemien lähialueella lennätettäessä on

hyvä ottaa selvää mahdollisista lentoasemakohtaisista tiukemmista rajoituksista ja lupavaatimuksista. Valvomattomien lentopaikkojen ja helikopterilentopaikkojen läheisyydessä on kiinnitettävä erityistä huomiota lennättämiseen. Kauko-ohjatulla ilma-aluksella ja lennokilla on väistämisvelvollisuus. Kauko-ohjattua ilma-alusta saa lennättää väkijoukon tai tiheästi asutun asutuskeskuksen yläpuolella tietyin rajoituksin ja ehdoin. Lennokilla näin ei saa tehdä, paitsi alle kolme kilogrammaa painavaa lennokkia saa lennättää tiheään asutun asutuskeskuksen yllä, kun turvallisuudesta on varmistuttu. Kauko-ohjatuille ilma-aluksille tapahtuneista onnettomuuksista ja vaaratilanteista on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle. Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvaa lennättämistä varten pitää pyytää Trafilta maksullinen tilapäinen ilmatilavaraus (320 euroa) vähintään 8 viikkoa ennen lennätystä, sekä laatia kirjallinen toimintatapakohtainen turvallisuusarviointi ja toimintaohjeistus normaali- ja häiriötilanteiden varalta. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2016, viitattu 5.4.2017.)

3 KAUKOKARTOITUS MIEHITTÄMÄTTÖMÄLLÄ ILMA-ALUKSELLA

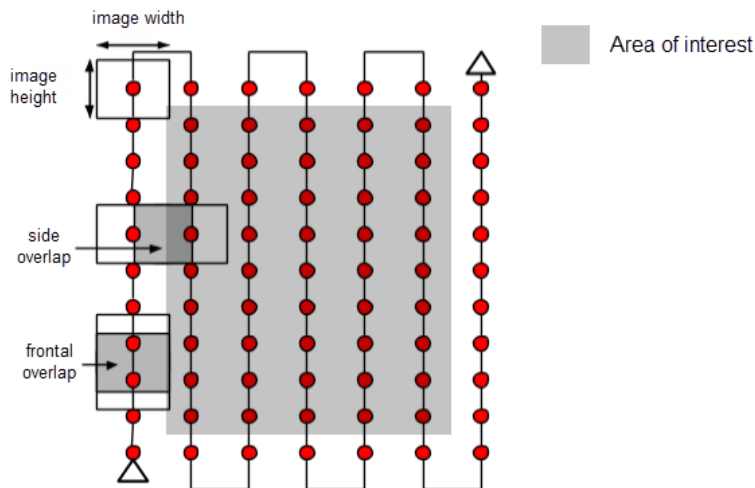
Kaukokartoitus on kuvamuotoisen tiedon keräämistä ja tulkitsemista etäällä olevista kohteista esim. satelliitti- ja ilmakuvien avulla. Fotogrammetria on kuvamittausta. Kohteiden koko, sijainti ja muoto voidaan määrittää kuvilta mittaamalla. Tässä työssä dronella otetuista ilmakuvista muodostetaan ortomosaiikki ja maaston korkeusmalli fotogrammetristen tietokoneohjelmien avulla. (Laurila 2010, 2.)

3.1 Ilmakuvaus

Ilmakuva on ilmasta otettu tavallinen valokuva. Ortomosaiikin ts. ortokuvan ja korkeusmallin tuottamista varten ilmakuvat otetaan kohtisuoraan alaspäin eli pystykuvauksena. Kun useita osittain päällekkäisiä ilmakuvia yhdistetään, saadaan ilmakuvamosaiikki, missä kuvatun alueen värit ja valoisuus on tasapainotettu. Ilmakuvamosaiikista saadaan ortokuva, kun se oikaistaan karttaprojektioon poistamalla maaston korkeuserojen aiheuttamat virheet. (Haggrén 2002, viitattu 5.7.2017.)

Kuvien prosessointi fotogrammetrisella ohjelmalla edellyttää, että kuvissa on päällekkäisyyttä noin 60 – 85 %. Ohjelma yhdistää kuvat kuvissa näkyvien liitospisteiden avulla. Ohjelma esimerkiksi tunnistaa kuvissa näkyvän saman kiven ja yhdistää kuvat sen avulla. Korkeaa päällekkäisyysprosenttia käyttämällä ohjelma löytää kuvista enemmän yhteensopivia liitospisteitä, jolloin se muodostaa kuvista tarkemman mallin. Kuvausalue kannattaa rajata hiukan kiinnostavaa aluetta suuremmaksi, jotta kiinnostavalta alueelta otetuissa kuvissa olisi kauttaaltaan riittävästi päällekkäisyyttä (kuvio 1). Valmista ortomosaiikkia tai korkeusmallia tulkitessa tulee muistaa, että kuvatun alueen reunoilla voi olla virheitä vähäisestä päällekkäisyydestä johtuen. (Pix4D 2017a, viitattu 29.9.2017.)

Ortomosaiikin muodostaminen vesialueista on vaikeaa fotogrammetrisella ohjelmalla. Pelkkää vettä sisältäviä kuvia on vaikea yhdistellä, koska vedestä on vaikea löytää kuvia yhdistäviä liitospisteitä aaltoilun ja auringon heijastuksien takia. Ortomosaiikkiin voi jäädä tyhjiä aukkoja, jos ohjelma ei osaa yhdistellä kuvia. Kuvien yhdistelyn helpottamiseksi suositellaan, että joka kuvassa olisi myös maata vähintään 30 % kuva-alasta. (Pix4D 2017b, viitattu 29.9.2017.)



KUVIO 1. Esimerkki kuvausalueen rajaamisesta ja kuvien päällekkäisyydestä (Pix4D 2017a, viitattu 29.9.2017).

3.2 Signaointi

Tukipisteitä ts. maastotukipisteitä (engl. ground control point) käytetään kartan sitomiseen koordinaatistoon. Tukipisteiden tarkka vaaka- ja pystysuora sijainti mitataan maastossa ja pisteet näkyvöitetään eli signaloidaan (Haggrén 2003, viitattu 28.9.2017). Signaaleina käytetään mm. erilaisia ristejä tai neliskanttisia alustoja, jotka erottuvat maastosta hyvin. Myös signaalin keskikohdan pitää erottua hyvin. Kuvista, joissa ei ole sijaintitietoa, voidaan tehdä ortomosaiikki, mutta ilman tukipisteitä sen sijaintia ei tiedetä eikä sitä voida yhdistää muihin karttoihin. Sijaintitiedon sisältävistä kuvista tehty ortomosaiikki voidaan liittää oikeaan sijaintiin maapallolla muutaman metrin tarkkuudella ilman tukipisteitäkin. Tukipisteet kuitenkin nostavat tällaisen kartan absoluuttista tarkkuutta. (DroneDeploy 2017, viitattu 15.5.2017; Pix4D 2017c, viitattu 28.9.2017.)

3.3 Kaukokartoitusaineiston tarkkuus

Karttojen tarkkuutta käsitellessä puhutaan suhteellisesta ja absoluuttisesta tarkkuudesta. Suhteellinen tarkkuus tarkoittaa kahden pisteen välistä tarkkuutta samalla kartalla. Absoluuttinen tarkkuus tarkoittaa sitä, miten jokin piste kartalla vastaa korjattuun koordinaattijärjestelmään oikeassa maailmassa. Jos kartta on absoluuttisesti tarkka, pisteen pituus- ja leveysasteet kartalla vastaavat melko tarkasti oikeita GPS –koordinaatteja. (DroneDeploy 2017, viitattu 15.5.2017.)

Suhteellinen tarkkuus on yleensä riittävä esimerkiksi pieniin mittauksiin, rakennustyömaan etenemisen visuaaliseen tarkkailuun ja peltojen sadon tarkkailuun. Kartan absoluuttiseen tarkkuuteen pitää panostaa silloin, jos karttaa halutaan verrata muihin georeferoituihin aineistoihin ja leveys-, pituus- ja korkeustiedot pitää varmasti olla oikein. (DroneDeploy 2017, viitattu 15.5.2017.)

Lentokorkeus vaikuttaa kartoituksen laatuun. Spatiaalinen resoluutio, toisin sanoen maastoresoluutio tarkoittaa pienintä kuvalta erotettavissa olevan yksityiskohdan kokoa (Ikola 1999, viitattu 18.5.2017). Mitä matalammalta kuvaus tehdään, sitä pienempää aluetta maassa yksi kuvan pikseli vastaa, jolloin maastoresoluutio paranee. Kuvan tarkkuuden noustessa kuvattava ala on pienempi. Kartan muodostaminen metsän ja tiheän kasvillisuuden peittämiltä aloilta helpottuu kuvaamalla korkeammalta. (Pix4d 2017d, viitattu 18.5.2017.)

Yleensä kohtuullisen hintaluokan droneissa on tavallinen GPS/GLONASS paikannus (DJI 2017a, viitattu 18.5.2017). On myös olemassa UA -järjestelmiä, kuten SenseFly eBee Plus, joihin on yhdistetty reaaliaikainen kinemaattinen eli RTK -mittaus ja jälkilaskettu kinemaattinen PPK -mittaus. Hinta eBee Plus järjestelmällä on noin 23 000 euroa (New Atlas 2016, viitattu 9.10.2017). Tällaisilla järjestelmillä saadaan tallennettua dronen sijainti jopa kolmen senttimetrin tarkkuudella kuvanottohetkellä. Tällä pyritään saamaan tarkkaa aineistoa ilman aikaa vievää signaalien rakentamista ja tukipisteiden mittaamista. (SenseFly 2017, viitattu 18.5.2017.)

3.4 Aiheeseen liittyvät aiemmat opinnäytetyöt

Aiemmin tehtyjä opinnäytetöitä tutkimalla selvisi, että valuma-alueiden korkeusmalleja voisi tehdä miehittämättömällä ilma-aluksella, ainakin tukipisteitä käyttämällä. UA -kuvauksella saatu materiaali olisi riittävän tarkkaa tähän tarkoitukseen.

Helanderin työssä UA -kuvauksella saadun aineiston tarkkuus todettiin monilta osin riittäväksi asemakaavan pohjakartan laatuvaatimuksiin. Työssä todettiin, että oikeana ajankohtana ja hyvin suunniteltuna UA -kuvaus ei paljoo poikkea laserkeilausaineistosta. Kasvillisuuden peittämällä alueilla UA -kuvaus ei läpäissyt kasvillisuutta maanpintaan, jolloin pelkkää maanpintaa kuvaava korkeusmalli ei ole totuudenmukainen. (2015, 21–27.)

Jeremia Hokkasen työssä todettiin UA –kuvauksen pystyvän haastamaan maalaserkeilauksen maastomallin tekemisessä ja tilavuuksien laskennassa (2015, 20–24).

Massalaskennassa pienillä ja selkeillä alueilla GPS –mittaus on nopeampi, mutta isoilla, monimuotoisilla ja vaikeakulkuisilla alueilla UA –kartoitus on parempi ja riittävän tarkka. Rahkon työssä ilman tukipisteitä georeferoidun aineiston tulokset eivät paljoa poikenneet tukipisteiden avulla georeferoidun aineiston tuloksista. Tukipisteettömän tavan luotettavuus jäi kuitenkin hiukan epävarmaksi. (2015, 22–25.)

UA –kuvauksen on todettu soveltuvan hyvin myös kiviainekasojen kartoitukseen. Kasojen geometria saadaan tarkemmin tallennettua UA:lla järkevässä ajassa tehtävään GPS –mittaukseen verrattuna. (Jokinen 2014, 31–33.)

4 VIRTAVESI- JA VALUMA-ALUEKUNNOSTUKSET

Aluetta, jolta vedet päätyvät samaan vesistöön, kutsutaan valuma-alueeksi. Joet, lammet ja järvet muodostavat valuma-alueen vesistön. Vesistön ravinne- ja kiintoainekuormitusta pyritään vähentämään mm. valuma-alueella toteutettavilla kunnostus- ja hoitotoimenpiteillä. Valuma-alueen kunnostus on usein perusedellytys vesistön tilan parantamiseksi. (Vesistöt kuntoon yhdessä – kunnostus- ja hoitohankeopas 2014, 5, 16.)

4.1 Kosteikko ja sen suunnittelu

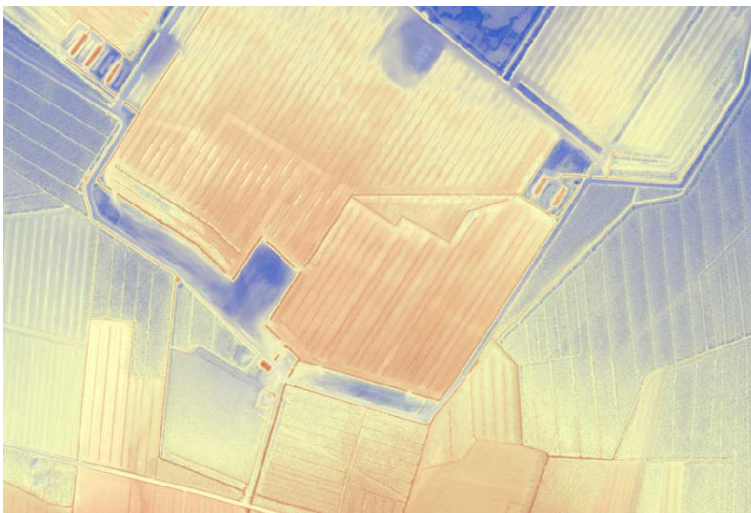
Kosteikko on vettä kertynyt alue, jossa kasvaa vesikasveja ja veden virtausnopeus on hyvin pieni. Luonnollisia kosteikkoja ovat esimerkiksi rantaruohikot, soiden avovesiallikot ja merenlahdet. Rakennettu kosteikko saadaan aikaan esimerkiksi nostamalla vedenpintaa peltoaukealla, joutomaalla tai ojanotkelmassa patoamalla. Kosteikko voidaan perustaa myös kaivamalla, pengertämällä (Vesistöt kuntoon yhdessä – kunnostus- ja hoitohankeopas 2014, 16) tai purkamalla alueen kuivattamista varten tehdyt rakenteet. Kosteikkojen tärkeimpiä tehtäviä ovat kiintoaineen ja ravinteiden pidättäminen ja vesi- ja kahlaajalintujen elinympäristönä toimiminen. Kosteikot lisäävät luonnon monimuotoisuutta tarjotessaan erilaisia elinympäristöjä monille uhanalaisille eläin- ja kasvilajeille. (Kosteikko-opas 2015, 8, 10.) Kosteikon toiminta perustuu veden virtausnopeuden hidastumiseen, syvyysvaihteluun, kasvittuneisiin osiin ja avoveteen (Vesistöt kuntoon yhdessä – kunnostus- ja hoitohankeopas 2014, 16).

Kosteikkoa suunniteltaessa selvitetään, millainen kasvusto alueella on. Sopiva paikka kosteikon perustamiseksi olisi esim. joutomaalla sijaitseva notkelma, johon luonnostaan kertyy vettä. Näin kosteikko voidaan perustaa edullisesti patoamalla ilman mittavia kaivuutöitä. (Kosteikko-opas 2015, 10.) Kosteikkoa mitoitettaessa pitää selvittää valuma-alueen pinta-ala, virtaama ja maaston kaltevuus. Valuma-alueen pinta-ala selvitetään esimerkiksi peruskartan korkeuskäyrien mukaisesti tai ympäristöviranomaisen paikkatieto-ohjelmalla. (Hagelberg, Karhunen, Kulmala, Larsson & Lundström 2012, 8.)

Kosteikon perustamiseen voi saada esimerkiksi ei-tuotannollisten investointien tukea tai kestävän metsätalouden rahoituslakiin perustuvaa KEMERA –tukea. Yksi tuen saamisen ehdoista on

kosteikon yläpuolisen valuma-alueen selvittäminen. KEMERA –tuella pyritään mm. vähentämään metsätalouden vesistövaikutuksia. Tukea voi saada esim. metsien kunnostusojitushankkeiden yhteydessä tehtäviin tavallista suurempiin laskeutusaltaisiin ja pintavalutuskenttiin, joiden tarkoitus on puhdistaa ojitusalueen vettä, riistanhoidolliset ja monimuotoisuutta edistävät näkökohdat huomoiden. Tuettavia luonnonhoitohankkeita ovat myös pienten virtavesielinympäristöjen luonnonhoito, lähteiden kunnostus ja metsäojitusalueiden ennallistaminen. (Riistakosteikko-opas, 40; Vesistöt kuntoon yhdessä – kunnostus- ja hoitohankeopas 2014, 13.) Ei-tuotannollisten investointien tukea voi saada, jos suunniteltavan kosteikon yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta yli 10 % on peltoa. Kosteikko pitää perustaa helposti tulvivalle pellolle tai pengerretylle kuivatusalueelle. Lisäksi kosteikon pinta-alan on oltava vähintään 0,5 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta ja vähintään 0,3 ha. Tuen saamiseksi on myös muita ehtoja, joihin tulee perehtyä ennen kosteikon perustamista. (Maaseutuvirasto 2017, viitattu 10.11.2017.)

MML:n eli Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta voi ladata maksutta kaikille avointa dataa, mm. kartta- ja ilmakuva-aineistoja. Korkeusmalli 2 m on laserkeilausaineistosta tuotettu malli, joka kuvaa maanpinnan korkeutta (kuvio 2). Aineisto ei kata koko Suomea. Korkeusmallia on kahdessa eri laatuluokassa. I-laatuluokan korkeustarkkuus on keskimäärin 0,3 metriä ja II-laatuluokassa tarkkuus vaihtelee 0,3 – 1 metrin välillä. (Maanmittauslaitos 2017, viitattu 3.4.2017.) MML:n korkeusmallin avulla selvitetään maanpinnan muotoja ja veden virtaussuuntia osana kosteikkojen suunnittelua. Veden virtaussuuntaan ojissa vaikuttaa ojien kaivuusyvyys, joten virtaussuunta voi toisinaan poiketa maanpinnan yleisestä kaltevuudesta. (Kosteikko-opas 2015, 31.)



KUVIO 2. Esimerkki Maanmittauslaitoksen aineistosta saatavilla olevasta 2 m –korkeusmallista. Kuvassa näkyy Kuuhkamonnevan peltoalue ja sen ympäristöä. (Maanmittauslaitos)

Miehittämätöntä ilma-alusta on käytetty luonnollisen kosteikon ekosysteemin arvioinnin apuvälineenä. Boon, Greenfield ja Tesfamichael kuvasivat työssään kosteikkoalueen miehittämättömän ilma-alueen avulla. He muodostivat kuvien avulla alueesta mm. ortomosaiikin ja korkeusmallin. Saatua aineistoa käytettiin kosteikon rajaamiseen, luokitteluun ja tilan arviointiin. Heidän mukaan pelkällä maastotyöllä olisi ollut vaikeaa saada yhtä kattavat tiedot alueesta. (Boon, Greenfield & Tesfamichael 2016, viitattu 6.4.2017.)

4.2 Virtavesi

Virtavesillä tarkoitetaan puroja ja jokia. Virtavesikunnostuksen tavoitteena on maiseman kohentaminen, vaelluskalojen lisääntymisen edistäminen ja virtaveden ekologisen tilan parantaminen. Kunnostusta tehdään uomassa ja sen valuma-alueella. (Vesistöt kuntoon yhdessä – kunnostus- ja hoitohankeopas 2014, 19.)

Puroja kunnostetaan kalojen elinolosuhteiden parantamiseksi ja vedenlaadun parantamiseksi alapuolisissa vesistöissä ja puroissa itsessään. Metsätaloudellisesti kannattamattomia ojitusalueita voidaan käyttää pidättämään tulvavesiä purojen tilan parantamiseksi. (Yrjänä 2008, 14.)

Virtavesien kunnostamiseen kuuluu puron tilan ja ongelmien inventoiminen. Yleensä se tehdään kulkemalla puron varsi läpi jalkaisin. Puron ja sen rantavyöhykkeen tiedot, kuten kalasto, kutusoraikot, koskipaikat, syvyys, leveysvaihtelu, kasvillisuuden luonnontilaisuus, ihmisten vaikutukset ja mahdolliset kunnostustoimenpiteet kirjataan ylös. (Luhta 2008, 24–25; Hyvönen, Suanto, Luhta, Yrjänä & Moilanen 2005, 7–8.)

5 MIEHITTÄMÄTTÖMÄN ILMA-ALUKSEN KÄYTTÖ VESIEN SYVYYSMALLINNUKSESSA

Vesien syvyysmallinnusta on mahdollista tehdä optisesti ilmakuviin avulla. Miehittämättömällä ilma-aluksella otetut kuvat sopivat hyvin tähän tarkoitukseen niiden korkean maastoresoluution takia. Myös satelliittikuvia voidaan hyödyntää syvyysmallinnuksessa. Syvyysmallinnusta voidaan tehdä Lyzenga-algoritmiin perustuvan empiirisen mallin avulla tai teoreettisen HAB-mallin avulla (Alho, Hyyppä, Hyyppä, Flener, Kasvi, Vaaja, Kukko, Lotsari, Hohenthal, Kurkela, Kaartinen & Haggrén 2011, 119, 120, 124–126.) Fotogrammetrisen Structure-from-motion –ohjelman avulla voidaan myös luoda veden syvyysmalli.

Syvyysmallinnus ilmakuvilta vaatii onnistuakseen kirkkaan ja aallottoman veden, yhdenmukaisen pohja-aineksen ja esteettömän näkymän joelle. Jokuoman reunoilla ei saa olla kasvustoa, joka estää näköyhteyden veteen tai joista aiheutuu varjoja veden ylle. Virheitä mallien käytössä aiheutuu vaihtelevasta veden sameudesta, veden liikehinnästä, levästä ja pohja-aineksesta, jotka muuttavat veden syvyyden ja kuvan värin suhdetta (Fonstad & Marcus 2005, 337, 338). Optinen syvyysmallinnus rajoittuu siihen vedensyvyyteen, missä kuvan väri ei enää muutu syvyyden muuttuessa. (Flener 2011, viitattu 6.4.2017; Flener 2013, 499.)

5.1 Empiirinen malli

Syvyysmallinnusta voidaan tehdä niin kutsutun Lyzenga –algoritmiin (Lyzenga 1978, viitattu 6.4.2017) perustuvan empiirisen mallin avulla. Se oli yksi ensimmäisistä tekniikoista ja on nykyisin käytetyin tekniikka, jolla voidaan soveltaa kaukokartoitusteknologiaa vesiympäristöön. Empiirinen malli perustuu veden heijastusarvon ja syvyyden väliseen suhteeseen. Lyzengan mallin käyttöä varten tarvitaan ortokuva ja kuvanottoaikoihin tehtyjä syvyysmittauksia maastosta. Maastossa tehdään syvyysmittauksia useista eri kohdista ja mitatun veden syvyyden ja kuvan pikselin arvon välille muodostetaan korrelaatio. (Flener, Lotsari, Alho & Käyhkö 2010, 119; Flener 2011, viitattu 6.4.2017; Flener 2013, 488, 489.) Veden syvyyden ja värin välisen korrelaation avulla syntyy regressioyhtälö, jota voidaan soveltaa loppuun kuvaan havainnoimaan veden syvyyttä (Shintani 2016, 9).

Käytettäessä suurta määrää korkealaatuisia kuvia suhteellisen tasaiselta korkeudelta otettuna, yhdistettynä kirkkaisiin vesiolosuhteisiin ja tasalaatuisen pohja-ainekseen ja alueen valaistusolosuhteisiin, voidaan mallintaa korkearesoluutioisesti noin 10 senttimetrin pystysuoralla tarkkuudella. (Flener, Vaaja, Jaakkola, Krooks, Kaartinen, Kukko, Kasvi, Hyyppä, Hyyppä & Alho 2013, 6400–6402.)

5.2 Teoreettinen malli

HAB –mallit perustuvat myös valaistuksen heikkenemiseen vedessä ja heijastusarvon ja syvyyden kovarianssiin. HAB –mallin käyttöä varten pitää olla tiedossa uoman virtaama, pitkittäisprofiili, leveys ja kitkakerroin. Maastossa mitattua syvyystietoa kuvanottohetkellä ei tarvita. Tarkemman absoluuttisen syvyyden on todettu saadun laskettua Lyzenga –mallilla (Flener, Lotsari, Alho & Käyhkö 2010, 119, 120).

HAB –mallin pääasiallinen käyttötarkoitus on selvittää uoman syvyystietoja kun maastomittaukset eivät ole mahdollisia. Myös epätarkkuudet mallin käytössä tarvittavissa tiedoissa, kuten uoman virtausvastuksessa ja kaltevuudessa aiheuttavat virheitä syvyyssmalliin. (Fonstad & Marcus 2005, 336, 337.)

5.3 Vedenalainen fotogrammetria (through-water)

Fotogrammetrian avulla voidaan mitata uoman syvyyttä kirkkaassa vedessä. Sen käyttämiseen ei tarvita maastossa mitattua veden syvyystietoa. Uoman vedenpinnan ylä- ja alapuolista topografiaa voidaan mallintaa Structure-from-Motion –tekniikkaa käyttävän tietokoneohjelman, esim. Agisoft Photoscan -ohjelman avulla. SfM fotogrammetria luo kolmiulotteisia malleja automaattisesti yhdistämällä eri kuvakulmista otetuista valokuvista yhteiset pisteet. Valon heijastumiskulma muuttuu vedenpinnan alapuolella, jolloin pohja näyttää olevan ylempänä kuin se todellisuudessa on. Silloin korkeusmalli näyttää veden olevan matalampaa kuin todellisuudessa. Virhe korjataan taitekorjauksella. Kirkkaissa ja matalissa vesissä on päästy melko tarkkoihin tuloksiin. Alle 0,4 metrin syvyisissä vesissä syvyyssmallin keskivirhe on ollut verrattavissa vedenpinnan yläpuolisen korkeusmallin keskivirheeseen. (Woodget, Carbonneau, Visser & Maddock 2014, 5–7, 10, 11; Shintani 2016, 13–15.)

6 JÄRVIEN VESIKASVILLISUUDEN KARTOITUS

Järvien vesikasvillisuutta kartoitetaan perinteisesti veneestä tai rannalta. Vedenpinnan yläpuolista kasvillisuutta voidaan kartoittaa myös miehittämättömällä ilma-aluksella. Ilma-aluksella otetuista kuvista muodostetusta ortokuvasta voidaan määrittää vesikasvillisuutta lajitasolla ja arvioida kasvillisuuden määrää. Pilvien heijastuminen vedestä ei haittaa visuaalisesti tehtävää manuaalista kartoitusta. (Husson, Hagner & Ecke 2013, Discussion.)

Valta-Hulkkonen, Partanen ja Kanninen toteavat tutkimuksessaan sopivan järven kuvaussään olevan aurinkoinen. Järven kasvillisuuden kuvaamista varten auringon vähimmäiskorkeuskulmana pidettiin 33° pitkien varjojen ja voimakkaan auringon heijastamisen välttämiseksi. Sopiva kuvaussää oli kirkas taivas ja alle 4 m/s tuuli. Kuvien päällekkäisyytenä käytettiin 80 %, jotta kuvista saataisiin ortomosaiikki ilman että kuvien reunoilla näkyvää auringonheijastamaa osaa tuli ortomosaiikkiin. (Valta-Hulkkonen, Partanen & Kanninen 2003, luku 2.)

Miehittämättömällä ilma-aluksella otetuista kuvista voidaan automaattisesti erottaa ympäristöllisesti merkittävää tietoa veden pinnan yläpuolisesta kasvillisuudesta esimerkiksi eCognition Developer –ohjelmalla. Manuaalinen kartoitus voidaan tehdä esimerkiksi ArcGIS -ohjelmalla. Kasvillisuus havainnoidaan visuaalisesti, rajataan ja luokitellaan vallitsevan kasvilajin mukaan. Haluttu tarkkuus kartoituksessa vaikuttaa siihen, kannattaako käyttää automaattista vai manuaalista kartoitusta. Manuaalinen kartoitus on parempi kuin automaattinen haluttaessa tarkkaa luokittelua ja alan ollessa sopivan pieni. Monimutkaisen kasvillisuuden luokittelu automaattisesti vähentää luokituksen tarkkuutta. Erityisesti ongelmana ovat taipuneet kasvien varret ja pystysuorassa olevat kasvien varret, joiden näkyvyysala on pieni. Automaattisessa luokittelussa ne luokiteltiin usein väärin. Suurempien alueiden kattaminen on tehokkaampaa automaattisen kohteeseen perustuvan kuva-analyysin avulla. (Husson, Ecke & Reese 2016, 3, 4, 7, 8, 13, 15.)

7 AINEISTO JA MENETELMÄT

7.1 Tiedonhankinta

Opinnäytetyöhön tarvittavaa tietoa etsittiin lähinnä internetistä kotimaisista ja ulkomaisista lähteistä. Tietoa etsittiin tietokannoista ja e- aineistoista, jotka löytyivät Oulun ammattikorkeakoulun kirjaston alakohtaisesta tiedonhakuoppaasta. Myös Google –hakukoneella etsittiin tarvittavaa tietoa työtä varten. Aihetta käsitteleviä opinnäytteitä etsittiin internetistä ammattikorkeakoulujen opinnäytteitä ja julkaisuja sisältävästä Theseus –palvelusta.

7.2 Opinnäytetyössä käytettävät miehittämättömät ilma-alukset

Kuvauslentoihin käytettiin kahta multikopteria. HYPE TKI -hankkeen DJI Mavic pro –nelikopteria ja DJI Phantom 4 –nelikopteria (kuvio 3). HYPE TKI –hanke on Oulun ammattikorkeakoulun ja Luonnonvarakeskuksen toteuttama hanke, jossa kehitetään hyperspektrikuvaamista kauko-ohjattavilla ilma-aluksilla ja uusia sovelluksia tekniikalle maatalous-, ympäristö- ja rakennusalan tarpeisiin. Molempiin ilma-alusjärjestelmiin kuuluu itse nelikopterin lisäksi kauko-ohjain, johon kiinnitetään esimerkiksi tablettitietokone tai älypuhelin nelikopterin kameran kuvan vastaanottamista ja ohjaussovelluksen käyttämistä varten. Dronejen ollessa samalta valmistajalta niissä käytetään samaa DJI GO 4 –sovellusta. Sovelluksella voi käyttää erilaisia lentotoimintoja, muuttaa kameran kuva-asetuksia ja nähdä lennonaikaiset tiedot. Sovellus myös tallentaa mm. korkeus- ja matkatiedot jokaisesta lennosta. (DJI 2017a, viitattu 18.5.2017 ; DJI 2017b, viitattu 18.5.2017.)



KUVIO 3. DJI Phantom 4 –nelikopteri ja kauko-ohjain. (Karppinen 2017)

Phantom 4:ään verrattuna Mavic on pienempi, kevyempi ja kokoontaitettavan muotoilun ansiosta helpommin mukana kuljetettava. Mavic -nelikopterin ja ohjaimen välinen toimintaetäisyys on pidempi ja yhteyden resoluutio hiukan parempi. Phantom 4:n maksiminopeus on suurempi ja se kestää kovempaa tuulta suuremman kokonsa takia. Kameran ominaisuuksiltaan hyvin samanlaisia, erona on Phantom 4:n suurempi FOV eli näkökenttä. Mavicin tuulensietokyvyksi ilmoitetaan 8 - 11 m/s ja Phantom 4:n 10 m/s. (DJI 2017a, viitattu 18.5.2017; DJI 2017b, viitattu 18.5.2017.)

UA -kartoituksessa yksi kuvattavan alueen laajuutta rajoittava tekijä on dronen akun kesto. DJI Phantom 4:ssä on 5350 mAh akku ja sen lentoajaksi luvataan 28 minuuttia. DJI Mavicissa on 3830 mAh akku ja maksimi lentoajaksi luvataan 27 minuuttia. Käytännössä lentoajat ovat kuitenkin muutamia minutteja alle luvatus maksimilentoajan. (DJI 2017a, viitattu 18.5.2017; DJI 2017b, viitattu 18.5.2017.)

7.3 Työssä käytetyt ohjelmat ja sovellukset

Agisoft Photoscan on fotogrammetrinen ohjelma, jolla voidaan muodostaa jopa tuhansista valokuvista yksi kokonaisuus. Ohjelmaan lisätään otetut kuvat ja niiden sijaintitiedot ja ohjelma muodostaa niistä karkean pistepilven. Pistepilvestä prosessoidaan edelleen polygonimalli, korkeusmalli ja ortomosaiikki. Ilmasta kuvattu aineisto voidaan georeferoida vastaamaan

todellisuutta muutaman senttimetrin tarkkuudella, joten lopputuotoksia voidaan käyttää esim. kohteiden visualisoimiseen, alueiden ja tilavuuksien mittaamiseen ja täsmäviljelyn tarpeisiin. (Agisoft 2017, viitattu 5.7.2017.)

Pix4Dmapper on hyvin samankaltainen fotogrammetrinen ohjelma kuin Agisoft Photoscan. Pix4Dmapper –ohjelmaa voi kuitenkin käyttää myös internetselaimella, niin ettei kuvien prosessointia varten tarvitse olla käytössä tehokasta tietokonetta. Ortomosaiikin ja korkeusmallin luomista varten tarvitsee vain ladata kuvat pilvipalveluun, josta tulee ilmoitus, kun prosessi on valmis. (Pix4D 2017e, viitattu 21.9.2017.)

Ilmakuvien systemaattista keräämistä varten etsittiin ilmaisia sovelluksia, joilla voi tehdä lentosuunnitelmia. Älypuhelimien sovelluskaupasta valikoitui kaksi sovellusta, jotka tuntuivat helpokäyttöisiltä ja niissä oli hyvät asetusten säätömahdollisuudet.

Pix4D:llä on erillinen sovellus, Pix4Dcapture, jolla voidaan suunnitella lentoja kuvamateriaalien keräämistä varten. Sovelluksessa kuvattava alue rajataan suorakaiteen muotoisesti, ja sovellus määrittää automaattisesti kuvausjonot alueelle asetetusta kuvien päällekkäisyydestä riippuen. Asetuksista voi valita kuvauskorkeuden, lentonopeuden, kameran kulman ja kuvien päällekkäisyyden. Kun lentosuunnitelma on tehty, sovellus lennättää dronea ja ottaa kuvat ilman että siihen tarvitsee puuttua. (Pix4D 2017f, viitattu 26.9.2017.) Toinen hyväksi todettu sovellus oli Precision Flight, jossa oli hyvin samankaltaiset ominaisuudet (Google 2017, viitattu 26.9.2017).

7.4 Kuvauslennot kosteikkosuunnittelun tueksi

Miehittämättömällä ilma-aluksella suoritettavaa valuma-alueen ja kosteikkosuunnittelualueen kuvausta kokeiltiin Vihannissa Kuuhekamonnevalla. Kuuhekamonneva kuuluu Piipsjärveen laskevan Piipsanjoen valuma-alueeseen. Oulaisissa sijaitseva Piipsjärvi ja sen valuma-alue kuuluvat VYYHTI II –hankkeen pilottisuunnittelukohteisiin (kuvio 4).



KUVIO 4. Punaisilla merkeillä on merkitty kuvauspaikat Piippsjärvi ja Kuuhamonneva, jotka kuuluvat VYYHTI II –hankkeen pilottisuunnittelualueeseen. (Paikkatietoikkuna 2017c, viitattu 7.11.2017)

Kuuhamonnevalla on turvetuotantoalueella sijaitseva tuotannosta poistunut noin 18 ha alue, joka on otettu peltoviljelyskäyttöön (kuvio 5). Viljely on osoittautunut vaikeaksi veden vaivaamalla osalla peltoa, joten viljelijä on suunnitellut kosteikon perustamista kyseiselle alueelle (kuvio 6). Kuvauksella haluttiin saada tarkempaa korkeustietoa alueesta kuin karttapalveluista on saatavilla. Kosteikon suunnittelua varten halutaan tietää, miltä alueelta valumavedet virtaavat kosteikkoon ja mihin suuntaan alueella sijaitsevat uomat virtaavat.



KUVIO 5. Suon reunassa oleva peltoalue, jolle kosteikkoa suunniteltiin. Kosteikolle ajateltu paikka on ympyröity punaisella. (Paikkatietoikkuna 2017a, viitattu 5.7.2017.)



KUVIO 6. Kosteikkoa suunniteltiin kohtaan, johon vesi kerääntyi luonnostaan. (Karpinen 2017)

7.4.1 Kuuhkamonneva 1. kuvaus

Ensimmäinen ilmakuvauus Kuuhkamonnevalla tehtiin 30.5.2017. Kuvauus haluttiin tehdä ennen kuin kasvusto lähtisi kunnolla kasvuun, jottei se vaikuttaisi korkeusmalliin.

Miehittämättömänä ilma-aluksena toimi DJI Phantom 4 –nelikopteri. Sää oli puolipilvinen ja tuuli arviolta 2 – 4 m/s. Lentoonlähtöpaikaksi valittiin pellon vierestä menevä tie. Näkymä kuvausalueelle oli esteetön. Kuvauus suunniteltiin Samsung –tablettiin asennetulla Pix4Dcapture –sovelluksella.

Kuvattava alue jaettiin kahdeksi eri kuvaussuunnitelmaksi, jotta akun vaihtaminen välillä olisi yksinkertaista. Lentokorkeudeksi valittiin 70 m, jotta koko alue saataisiin kuvattua kahdella akulla. Kuvien päällekkäisyydeksi valittiin 80 %, jotta muodostettavasta kartasta saataisiin mahdollisimman tarkka. Molemmat lennot kestivät noin 20 minuuttia lentonopeuden ollessa noin 5,8 m/s. Lennot suoritettiin päivällä kello 12:n ja 1:n välillä. Ensimmäisen suunnitelman pinta-ala oli noin 12,7 ha. Kuvia tuli 400 ja kuvattava alue oli kooltaan 576 m * 220 m (31 kuvaa/ha). Toinen alue oli 11,8 ha (454 m * 260 m) ja kuvia tuli 255 (22 kuvaa/ha). Yhteensä kuvia tuli 655. Kaikki kuvat olivat hyvälaatuisia, eikä niitä tarvinnut poistaa. Toisen kuvauksen aikana aurinko tuli välillä pois pilvestä.

7.4.2 Kuuhkamonneva 2. kuvaus

Ensimmäisen kuvauksen alustavien tuloksien valmistuttua Kuuhkamonnevalla päätettiin kuvata toisenakin päivänä 7.6.2017. Peltoalueen kasvusto ei ollut vielä korkeaa, joten se ei vielä merkittävästi korkeusmalliin vaikuttaisi.

Kuvaukset tehtiin Phantom 4 –nelikopterilla kahdessa osassa tälläkin kertaa. Ensimmäisen osan pinta-ala oli 7,3 ha (308 m * 236 m) ja lennon kestoksi arvioitiin suunnitelmassa 18 minuuttia. Lentokorkeus oli 50 metriä ja lentonopeus keskimäärin 4,8 m/s. Kuvia otettiin 222 kpl 15 minuutin aikana.

Toinen suunnitelma oli alaltaan 4,5 ha (206 m * 217 m). Lentokorkeudeksi määritettiin 40 metriä, jotta saataisiin testattua lentokorkeuden vaikutusta tuloksiin. Dronen lentonopeus oli keskimäärin 3,5 m/s. Kuvia alalta tuli 239.

Yhteensä kuvia tuli 461. Kuvista tuli tarkkoja. Aurinko meni kuvausten aikana välillä pilveen, joten osa kuvista on otettu auringon ollessa pilvessä ja osa auringonpaisteessa.

7.4.3 Kuuhkamonneva 3. kuvaus

Vieläkin parempaa ainestoa haluttaessa alue kuvattiin vielä kolmannen kerran signaloituna 15.8.2017. Pelto oli osittain niitetty ja paalattu ja osalla alalla oli vielä kasvusto pystyssä.

Kartoitettavalta alueelta mitattiin tukipisteitä, joiden tarkka sijaintitieto mitattiin SATLAB tarkkuus-GPS:llä. Tukipisteet näkyvöitettiin signaalilevyjen avulla. Signaaleina toimivat puiset neliön muotoon leikatut kovalevyn palaset, jotka oli maalattu valkoiseksi tai harmaaksi ja levyn keskikohta oli merkattu pohjaväristä erottuvalla ristillä tai neliöllä. Tukipisteiden käyttöön päädyttiin, koska ilman niitä ei saatu riittävän tarkkaa korkeusmallia. Tukipisteitä mitattiin 12.

Mavicilla lennettiin alueen pohjoisosa. Phantom 4:llä lennettiin alueen länsireuna. Teknisten ongelmien takia osa peltoalueen eteläosasta jäi kuvaamatta.

7.5 Kuvauslento Piipsjärvellä vesikasvillisuuden havainnoimiseksi

Järvien vesikasvillisuuden havainnointia kokeiltiin Oulaisissa Piipsjärvellä (kuviot 4 ja 7) 7.9.2017. Piipsjärvi ja sen valuma-alue ovat yksi VYYHTI II –hankkeen pilottisuunnittelukohteista. Piipsjärven vesikasvillisuuden kartoituksessa tavoitteena oli dokumentoida vesikasvillisuuden levinneisyyttä. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka hyvin veden pinnan yläpuolista kasvillisuutta voidaan ilmasta käsin hahmottaa ja laskea. Haluttiin myös nähdä, näkyykö Piipsanjoen laskeminen järveen jotenkin, esim. veden värierona.

Järveltä otettiin Phantom 4:llä ensin ns. maisemakuvia useista eri kohdista ja eri suuntiin. Järven pohjoispään ranta-alue kuvattiin ohjaamalla dronea ohjaimella ja ottamalla kuvia niin, että niihin tuli silmämääräisesti yli puolet päällekkäisyyttä. Ranta-alue kuvattiin erikseen, koska kuvaushetkellä ei ollut varmuutta onnistuuko ortomosaiikin muodostaminen fotogrammetrisella ohjelmalla kuvista, joissa näkyy vain vettä. Ranta-alue kuvattiin noin 142 metrin korkeudesta, jotta saataisiin mahdollisimman iso alue kuvattua. Kuva-asetukset olivat automaattilla.



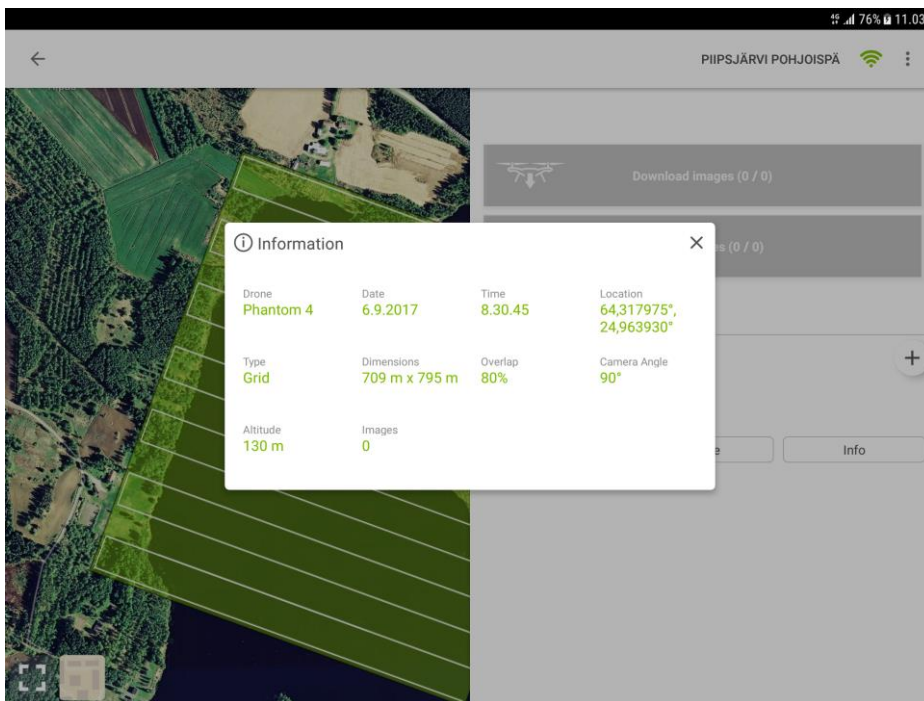
KUVIO 7. Maanmittauslaitoksen ortokuva Piipsjärvestä. Vesikasvillisuutta kartoitettiin järven pohjoispäästä, joka on ympyröity punaisella. (Paikkatietoikkuna 2017b, viitattu 4.10.2017.)

Sopivan lentokorkeuden valitsemiseksi järvestä otettiin kuvia samasta kohti eri korkeuksilta. Kuvista voi havaita, miten hyvin kasvit erottuu eri korkeuksilta. Lentokorkeuden voi sitten valita sen

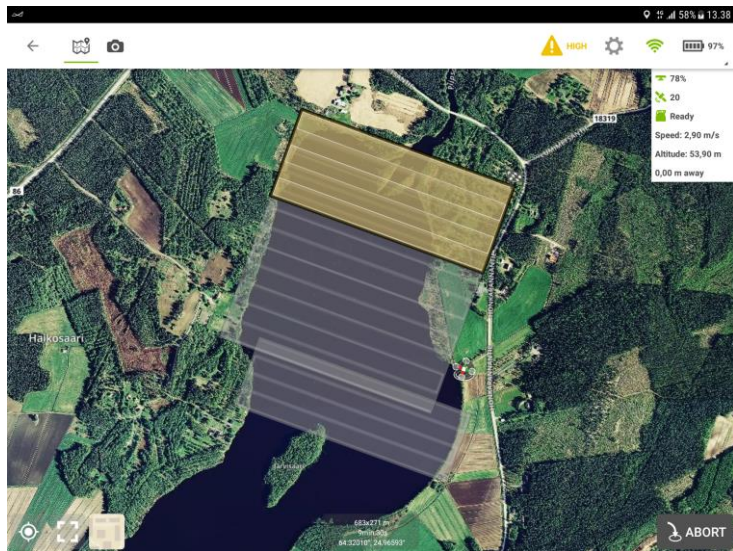
mukaan, kuinka hyvin haluaa kasvillisuuden ja eri kasvilajien erottuvan muodostettavasta ortomosaiikista. Vertailukuvia otettiin kymmenen metrin välein 140 metrin korkeudelta 20 metrin korkeudelle ja vielä yksi 15 metristä.

Tuuli oli kohtalaisen voimakasta kuvausaikaan. Dronen lentämiseen tuuli ei vaikuttanut kuin korkeintaan lyhentämällä lentoaika hiukan. Kuvissa tuuli vaikutti niin, että samasta kohti otetuissa kuvissa puut heiluivat eri suuntiin, mikä voi vaikuttaa ortomosaiikin luomiseen negatiivisesti.

Kartoituslentoa varten käytettävät sovellukset reistailivat, mutta kuvia kuitenkin loppujen lopuksi saatiin. Kuvaukseen käytettiin Pix4Dcapture –sovellusta (kuviot 8 ja 9). Kuvat otettiin 130 metrin korkeudesta. Kartoituskuvista muutama poistettiin kuvan heilahtamisen takia, ja niitä jäi jäljelle 475.



KUVIO 8. Esimerkki lentosuunnitelman tiedoista Pix4Dcapture –sovelluksessa.



KUVIO 9. Ruudunkaappaus tabletilla auki olevasta Pix4Dcapture –sovelluksesta, jossa näkyy kolme eri kuvaustehtävää Piipsjärveltä.

Kuvia otettiin myös 360 asteen panoraaman luomista varten. Kuvat otettiin leijumalla dronella paikallaan ja kääntelemällä dronea ja kameraa niin, että kuviin tuli jonkin verran päällekkäisyyttä. Panoraamaa varten kuvia otettiin 39 kpl 150 metrin korkeudelta. Panoraaman kuvauksen aikana kamerasetukset esim. valotusarvo säädettiin itse niin, että vesi ja vesikasvillisuus näkyisivät selkeästi. Niillä säädöillä taivas ylivalottui, mutta sitä ei ollutkaan tavoitteena kuvata. Kuvista luotiin panoraamat PTGui -ohjelmalla. Se on tietokoneohjelma, jolla voidaan yhdistää useita kuvia yhdeksi panoraamaksi (PTGui 2017, viitattu 9.10.2017).

7.6 Kuvien käsittely Agisoft Photoscanilla

Kosteikko- ja järvi-kohteelta otetut ilmakuvat käsiteltiin fotogrammetrisellä ohjelmalla korkeusmallin ja ortomosaiikin muodostamista varten. Ohjelmalla muodostettiin ortomosaiikki ja korkeusmalli Agisoftin nettisivuilla olevan ohjeen mukaan.

Ensin ohjelmaan lisätään kuvat. Kuviin tallentunut kuvien sijaintitieto siirtyy ohjelmaan kuvien mukana. Seuraavaksi ohjelmassa kuvat kohdistetaan (align photos), jolloin muodostuu karkea pistepilvi. Sen jälkeen rakennetaan polygonimalli, jotta maastotukipisteiden sijoittaminen kuviin on helpompaa. Sitten maastotukipisteet merkataan yksittäisiin kuviin. Tukipisteiden sijainti tarkastetaan joka kuvassa, missä tukipiste näkyy. Sen jälkeen kamerasuuntaukset optimoidaan ja rakennetaan tiheä pistepilvi. Sen jälkeen voi luoda ortokuvan ja korkeusmallin ja viedä ne ulos ohjelmasta.

8 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

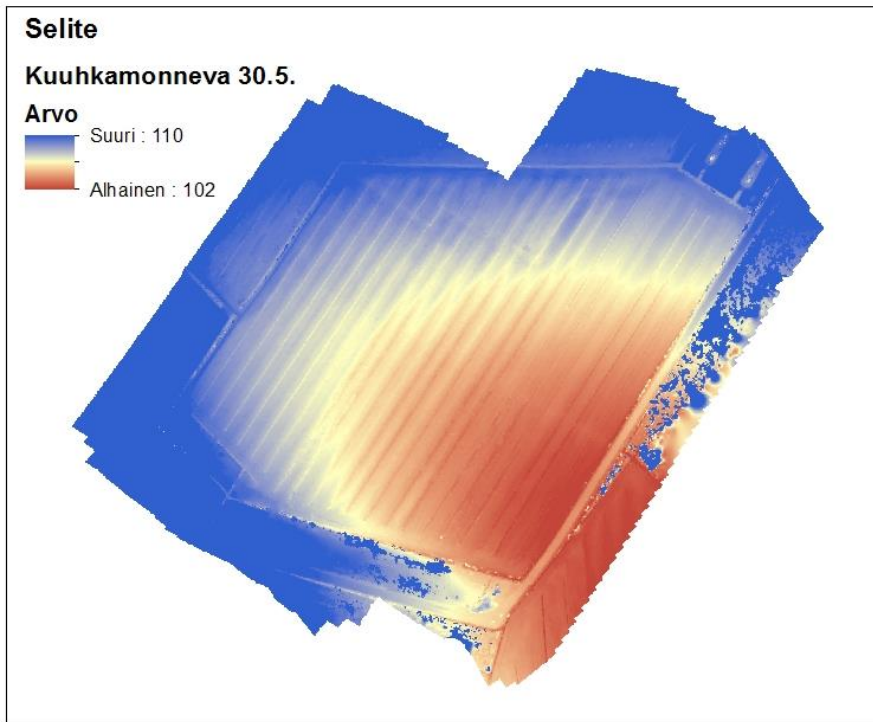
8.1 Kuuhekamonneva 1. kuvaus

Kuvauslentojen jälkeen kuvat laitettiin Agisoft Photoscan -ohjelmaan, joka yhdisti kuvat kuvien sijaintitietojen perusteella. Ohjelmalla muodostettiin alueesta pistepilvi, korkeusmalli ja ortomosaiikki. 70 metristä kuvattuna maastopikselin kooksi tuli 2,8 cm ja kuvattava ala oli 33 ha. Ortomosaiikki on hyvälaatuinen (kuvio 10). Siinä näkyy selvästi peltoalueella oleva kohta, johon vesi on kerääntynyt.



KUVIO 10. Ortomosaiikki Kuuhekamonnevalta 30.5. (Photoscan)

Korkeusmallin mukaan peltoalueen korkeus vaihtelisi noin 8 metriä, mikä ei todellisuudessa pidä ollenkaan paikkaansa (kuvio 11). Ortomosaiikissa näkyvä vesittyneet alue ei korkeusmallissa näytä alavalta kohdalta, vaikka niin voisi olettaa.



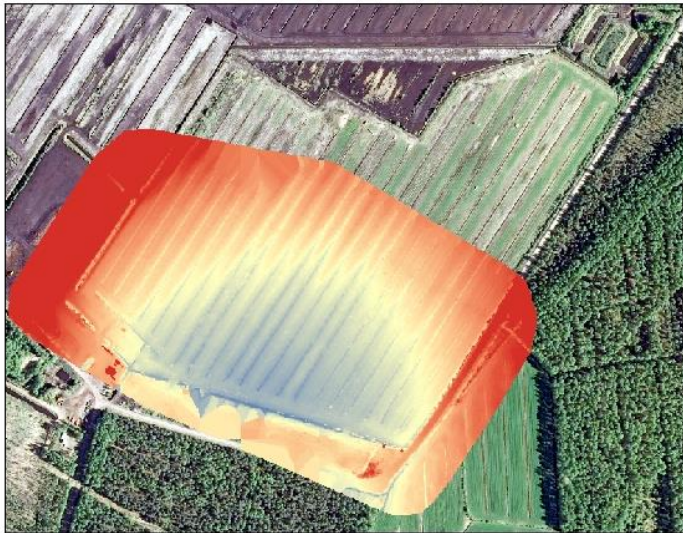
KUVIO 11. Agisoft Photoscan –ohjelmalla luotu korkeusmalli Kuuhkamonnevalta. Korkeusmallia käsiteltiin ArcMap –ohjelmalla.

8.2 Kuuhkamonneva 2. kuvaus

Phantom 4 –nelikopterilla otetut kuvat prosessoitiin sekä Pix4Dmapper –ohjelmalla että Agisoft Photoscan – ohjelmalla. Lopputulokset olivat hyvinkin samankaltaisia. Ortomosaiikissa vasen alanurkka näyttää vähän eri väriseltä kuin muu kuva, koska sitä kohtaa kuvattaessa aurinko meni pilveen (kuvio 12). Korkeusmallista tuli tälläkin kertaa epärealistinen (kuvio 13). Kuvatun alueen korkeusvaihtelu ei voi olla viittä metriä. 40 ja 50 metrin korkeuksilta kuvatun ortomosaiikin maastopikselin kooksi tuli 1,8 cm ja kuvattu alue oli 16 ha. Kartan vaakasuora sijaintitarkkuus kuitenkin vaikuttaa hyvältä, kun vertaa korkeusmallia Pix4D –ohjelmassa olevaan taustakarttaan (kuvio 13).



KUVIO 12. Agisoft Photoscan -ohjelmalla luotu ortomosaiikki.



Kuuhkamonneva 7.6. DSM

Value
High : 37,6
Low : 32,6

KUVIO 13. Korkeusmallin mukaan alueen matalin kohta olisi alhaalla keskellä ja maasto nousisi erittäin tasaisesti reunoja kohti, mikä ei todellisuudessa pidä paikkaansa. (Pix4D)

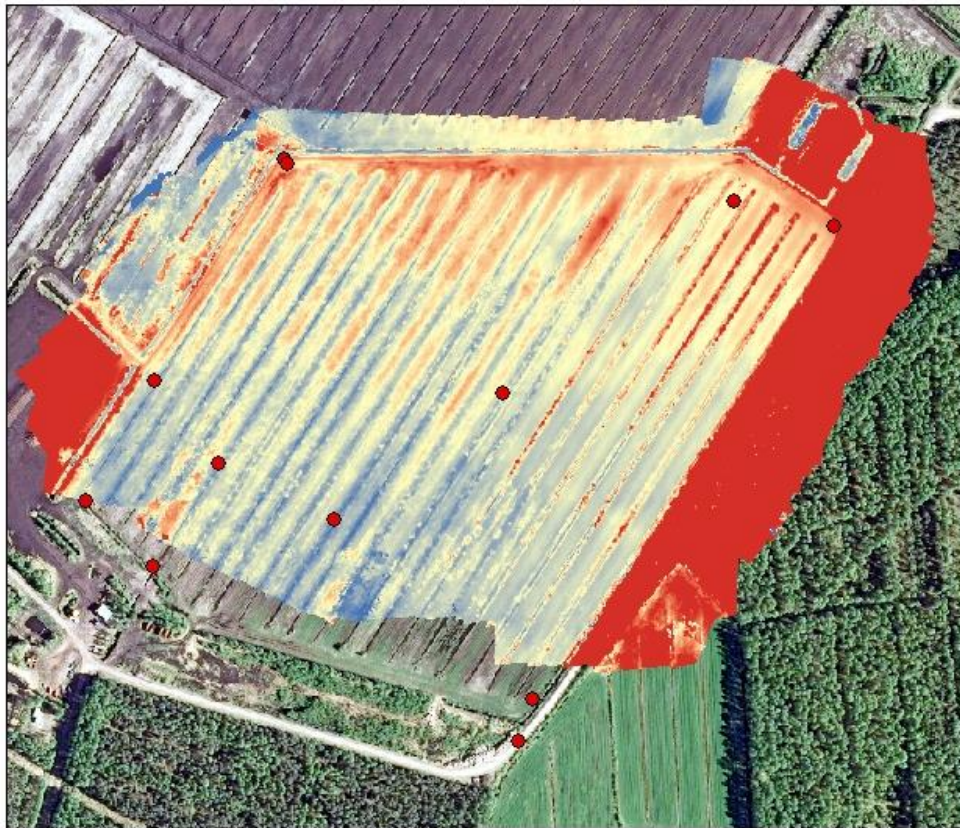
8.3 Kuuhekamonneva 3. kuvaus

Mavicilla ja Phantomilla otetuista kuvista muodostettiin ortomosaiikkeja ja korkeusmalleja usealla eri tavalla. Ortomosaiikista tuli laadukas käyttö siihen molempien nelikoptereiden kuvia tai vain Mavicin (kuvio 14).



KUVIO 14. Mavicin ja Phantomin kuvista rakennettu ortomosaiikki. (Photoscan)

Korkeusmallin luomista kokeiltiin myös ilman tukipisteiden käyttämistä, jolloin lopputuloksena oli taas virheellisen näköinen korkeusmalli. Tukipisteitä käyttämällä alueesta saatiin muodostettua hyvinkin realistiselta näyttävä korkeusmalli, jonka mukaan peltoalueen korkeusvaihtelu on noin 2 metriä ojanpohjalta pellon korkeimpaan kohtaan (kuvio 15). Osa kahdestatoista tukipisteestä jäi käyttämättä kartan muodostuksessa, koska kuvaussovellusten ongelmien takia koko suunniteltua aluetta ei saatu kuvattua. Korkeusmallissa näkyy hyvin ojat ja sarkojen pyöreys. Korkeusmallin oikeassa yläkulmassa on nähtävissä, että ojan kohta olisi ylempänä kuin sarka (tumman punaisena), koska ojissa kasvoi siinä kohti korkeaa pajukkoa. Korkeusmallia tulkitessa täytyy muistaa, että alueen reunoilla korkeuksissa voi olla virheitä reuna-alueiden vähäisestä kuvien päällekkäisyydestä johtuen.



KUVIO 15. Onnistunut korkeusmalli Kuuhkamonnevan peltoalueesta. (ArcMap)

8.4 Kuvaus Piipsjärvellä

Piipsjärvellä otetuista kuvista luotiin ortomosaiikki sekä Pix4Dmapper –ohjelmalla että Agisoft Photoscan -ohjelmalla. Ortomosaiikin luominen onnistui hyvin, vaikka suurin osa kuvista ei maa-alueita sisälläkään. Kuvien yhdistelyä helpotti luultavasti vesikasvillisuuden runsas määrä. 130 metrin korkeudesta kuvattuna ortomosaiikin maastopikselin kooksi tuli 5,3 cm/pikseli. Kuvattu alue oli kooltaan melkein 100 ha.

Phantom 4 –nelikopterin 12 megapikselin kameralla eri korkeuksilta otetut kuvat havainnollistavat hyvin, miten selvästi kasvit erottuvat kuvista (kuviot 16 – 19). Kuvat ovat otettu samasta kohti järveä. Kasvit erottuvat kuvista vielä paremmin, kun kuvaa katselee esim. Windowsin valokuvien katselu -ohjelmalla ja kuvaa suurentaa. Kasvillisuuden peittämän pinta-alan määrittämiseen

kuvaaminen 130 metrin korkeudelta sopii hyvin. Mikäli kasvillisuutta haluttaisiin luokitella kasvilajeittain, kuvauskorkeuden laskemista kannattaa harkita.



KUVIO 16. 20 metrin korkeudelta otettu ilmakekuva. (Karpinen 2017)



KUVIO 17. Suurennos 20 metrin korkeudelta otetusta kuvasta. (Karpinen 2017)

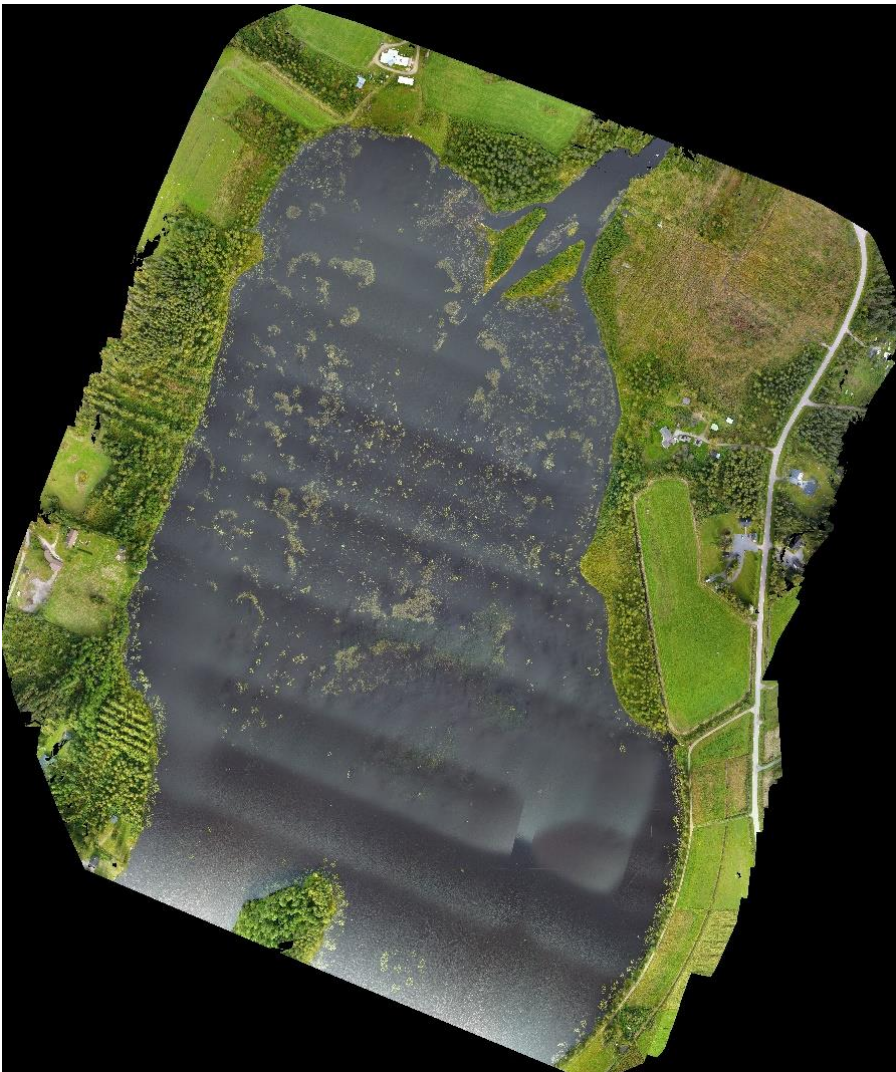


KUVIO 18. 130 metrin korkeudelta otettu kuva. (Karpinen 2017)



KUVIO 19. Suurennos 130 metrin korkeudelta otetusta kuvasta. (Karpinen 2017)

Ortomosaiikissa näkyy valon ja pilvien heijastuminen vedenpinnasta, jonka takia kuva on hiukan vaikeaselkoinen. Pix4Dmapper- ohjelmalla luodussa ortomosaiikissa (kuvio 20) heijastelun aiheuttamat haitat ovat suuremmat kuin Photoscan –ohjelman ortomosaiikissa (kuvio 21). Kuvan eri kohdissa heijastuksen määrä vaihtelee johtuen siitä, että kuvauslennon aikana välillä aurinko paistoi ja välillä oli pilvessä. Auringon ollessa pilvessä heijastuksien aiheuttamat haitat ovat huomattavasti pienemmät. Vesikasvillisuus erottuu ortokuvasta kuitenkin hyvin heijastuksista huolimatta, etenkin kuvankatseluohjelmassa kuvaa suurentaessa. Kasvillisuuden peittämää pinta-alaa ei tässä työssä erikseen alettu laskemaan kuvankäsittelytyökalulla tai kuvananalysointiohjelmalla työmäärän pitämiseksi kohtuullisena. Yksi kuvauksen tavoitteista oli kuvata, näkyykö Piipsanjoen laskukohdalla jotain poikkeavaa, kuten vaihtelua veden värissä. Ortomosaiikissa ei ole sellaista havaittavissa.

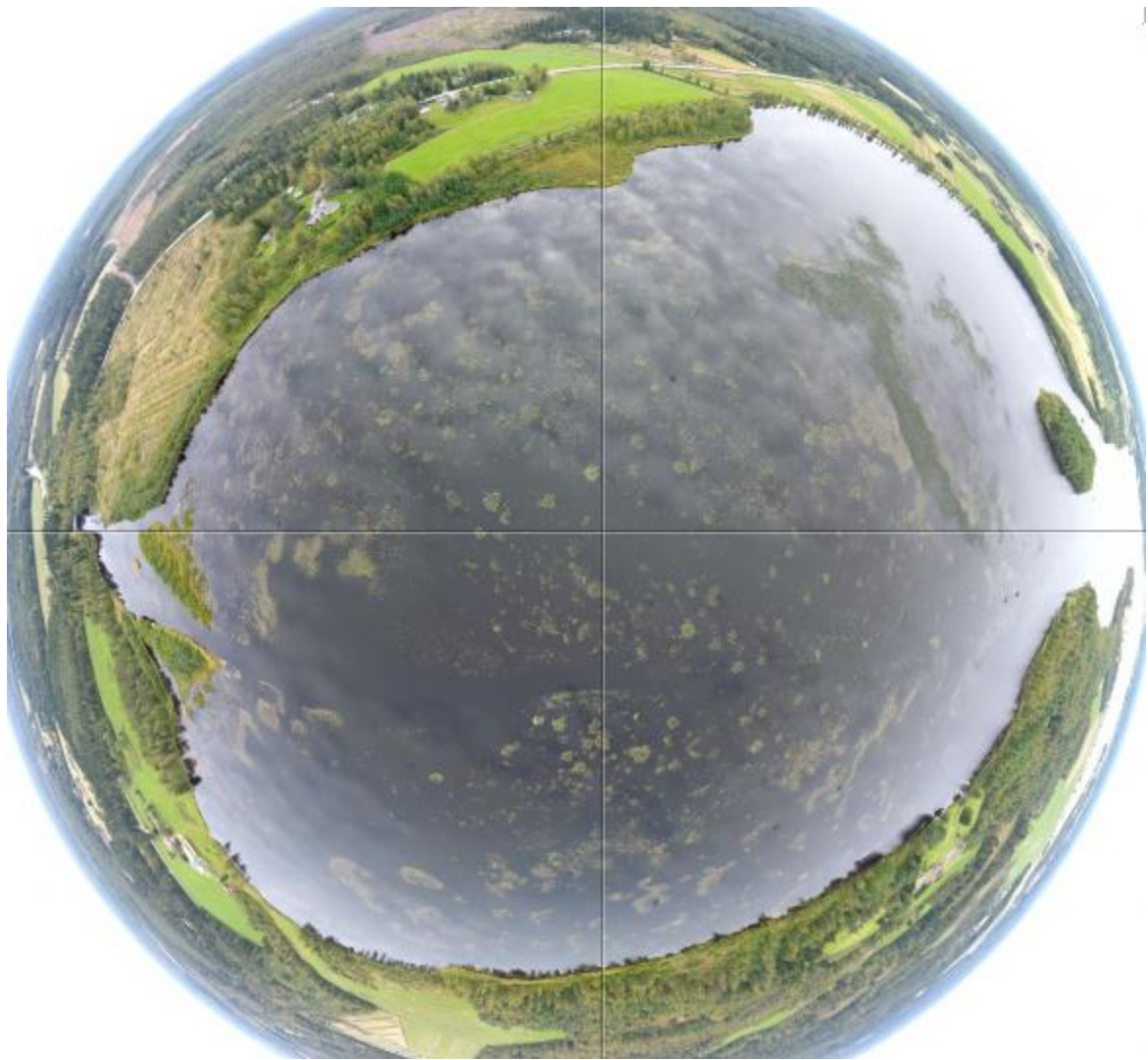


KUVIO 20. Piipsjärven pohjoispäästä tuotettu ortomosaiikki Pix4D –ohjelmalla.



KUVIO 21. Agisoft Photoscan –ohjelmalla tehty ortomosaiikki Piipsjärven pohjoispäästä.

Vesikasvillisuuden määrän havainnollistamiseksi järveltä tehtiin myös kalansilmä- (kuvio 22) ja 360 –panoraama. Valon ja pilvien heijastuminen veden pinnasta heikentää niidenkin laatua, mutta niitä katselemalla saa kuitenkin hyvän käsityksen siitä, miltä järven vesikasvillisuus näyttää ylhäältäpäin katsottuna. 360 –panoraaman helpoimmaksi näyttämistavaksi todettiin panoraaman lisääminen facebook –tilille. Sieltä panoraama on helppo näyttää, sitä voi pyörittää ja lähentää ja loitontaa.



KUVIO 22. Myös kalansilmäpanoraama antaa hyvän yleiskuvan järven vesikasvillisuuden määrästä. (PTGui)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Miehittämättömän ilma-aluksen valtti on kuvausajankohdan päättäminen itse, verrattuna internetin karttapalveluissa tarjolla oleviin satelliitti- tai lentokonekuviin. Miehittämättömän ilma-aluksen avulla alueesta saadaan helposti alueen senhetkistä tilaa havainnollistavia ilmakuvia. Useista ilmakuvista voidaan luoda ortomosaiikki, jossa näkyy koko kuvattu alue tarkasti. Ortomosaiikin luominen on yksinkertaista useilla siihen tarkoitetuilla ohjelmilla. Kauko-ohjattavalla ilma-aluksella voidaan lentää matalalla, jolloin saadaan maastoresoluutioltaan huomattavasti parempaa kuvaa kuin mitä ilmaisissa karttapalveluissa on tarjolla. Lisäksi karttapalveluiden ortokartat ovat usein muutamia vuosia vanhoja.

Sää rajoittaa kaikkea ilmakuvausta. Erityisesti kova tuuli, vesisade ja pakkasen rajoittavat kuvaamista etenkin halvemman hintaluokan miehittämättömillä ilma-aluksilla. Miehittämättömän ilma-aluksen käytön mahdollisuudet pitää arvioida joka kohteelle erikseen. Kuvattavan alueen lähellä pitää olla avonaista tilaa dronen nousuun ja laskeutumiseen. Miehittämättömällä ilma-aluksella tehtävää ilmakuvausta rajoittaa merkittävästi lain vaatimus näköyhteyden säilyttämisestä ilma-alukseen. Lain mukaan kauko-ohjaajalla tai tähystyshenkilöllä pitää olla näköyhteys miehittämättömään ilma-alukseen ilman apuvälineitä. Se rajoittaa kuvattavan alueen laajuutta ja puustoisien alueen pienimuotoistakin kuvaamista. Näköyhteyden ulkopuolella voi lennättää, jos hakee maksullisen ilmatilavarauksen 8 viikkoa ennen toimintaa ja tekee kirjallisen toimintaohjeistuksen normaali- ja häiriötilanteita varten ja toimintatapakohtaisen turvallisuusarvioinnin.

Ilmakuvauksissa käytettävien laitteiden akun kesto on yksi oleellisimmista rajoittavista tekijöistä. Etenkin halvempien laitteiden akun kesto on aika lyhyt, jolloin kovin suurta aluetta ei yhdellä akulla voi kuvata. Akkujen vaihtaminen taas lisää kuvaukseen kuluvaan aikaa. Mitä matalammalta aluetta kuvaa, sitä tarkempaa materiaalia saa ja sitä pienemmän alueen ehtii kuvata. Kuvauskorkeutta nostamalla voidaan kasvattaa kuvattavan alueen kokoa. Tässä työssä Phantom 4 –nelikopterilla kuvattiin parhaimmillaan melkein 100 ha 130 metrin korkeudelta yhden lisäakun avulla. Parempaa maastoresoluutiota tavoiteltaessa kuvattiin 40 – 50 metrin korkeudelta, jolloin kuvattava alue oli laajuudeltaan vain 16 ha.

Miehittämättömien ilma-alusten hallintaan käytettävien sovellusten päivitysten pitäminen ajan tasalla on erittäin tärkeää dronen toimintahäiriöiden välttämiseksi ja lennon ja kuvauksen onnistumiseksi.

9.1 Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö virtavesikohteilla

Virtavesien syvyyden kartoitus miehittämättömän ilma-aluksen avulla on mahdollista, mutta vaatii aiheeseen perehtyneen ammattilaisen ja paljon työtä. Uoman leveys ja ympäröivä puusto aiheuttavat rajoitteita kuvaamiselle. Kuvilta tapahtuvaa veden syvyyskartoitusta varten veden pitäisi olla kirkas, aalloton ja pohja-aineksen tasalaatuista.

Työn tarkoituksena oli selvittää, kuinka kauko-ohjattavalla ilma-aluksella voidaan helpottaa työskentelyä maastossa. Tarkkaan uoman topografiseen kartoitukseen tarvitaan tukipisteitä. Tukipisteiden rakentaminen ja mittaaminen, kuvien ottaminen ja syvyyden määrittäminen kuvien avulla vievät runsaasti aikaa. Virtavesikunnostusten yhteydessä on syytä harkita ajan hallinnan takia, tarvitseeko koko uomasta luoda syvyysmallia, vai onko perinteisten menetelmien käyttäminen järkevämpää. Nopein tapa kirkasvetisen virtaveden syvyyden vaihtelun karkeaan arviointiin on arvioida syvyyttä silmämääräisesti ortomosaiikissa näkyvän uoman pikseleiden värimuutosten perusteella. Vaikka virtavesi ei olisi kirkas eikä ilmakuvauksesta olisi hyötyä veden syvyyden määrittämiseen, ainakin sen ympärillä kasvava kasvusto on helppo dokumentoida ilmasta käsin.

Syvyyskartoitusta Lyzengan- tai HAB –mallin tai fotogrammetrisen ohjelman avulla käytetään lähinnä jokitutkimuksissa. Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö sopii virtavesikohteiden kuvaamiseen, mikäli ympäröivä maasto sen sallii, mutta syvyysmallinnuksen tekeminen ei välttämättä ole perusteltua kuin jokitutkimuksissa.

9.2 Miehittämätön ilma-alus kosteikon suunnittelussa

Kosteikon suunnittelussa halutaan tietää mm. miltä alueelta valumavedet virtaavat kosteikkoon, mihin suuntiin ojat virtaavat ja onko alueella alavia kohtia. Merkittävästi vesien virtaussuuntiin ja

valuma-alueen laajuuteen vaikuttava rumpujen havaitseminen teiden alta on vaikeaa ilmasta. Korkeusmalli auttaa alueen korkeusvaihteluiden ja vesien valumasuuntien hahmottamisessa. Valuma-alueen määrittely on haasteellista, koska sitä varten pitäisi kuvata todella iso alue. Silloin kuvaukseen, alueen signalointiin ja kuvien käsittelyyn menevä aika ei välttämättä tuo niin suurta hyötyä kuin kulutettuun aikaan nähden pitäisi.

Tässä työssä oli tarkoitus kokeilla korkeusmallin ja ortokuvan muodostamista ilman tukipisteiden mittaamista ja signaalien rakentamista. Tässä työssä luotettavan korkeusmallin luominen osoittautui mahdottomaksi ilman maastossa mitattuja tukipisteitä, joten ne otettiin kuvauksiin mukaan. Tukipisteiden avulla saatiin luotua realistinen korkeusmalli. Ortomosaiikin vaakasuora sijaintitarkkuus vaikutti hyvältä ilman tukipisteiden käyttöäkin.

Alueen kuvaamista korkeusmallin luomista varten on harkittava tapauskohtaisesti. Mikäli Maanmittauslaitoksen 2 m korkeusmallista selviää korkeustiedot riittävän hyvin, korkeusmallin muodostaminen miehittämättömällä ilma-aluksella otettujen kuvien avulla ei ole kannattavaa. Mikäli taas alueesta ei ole kunnollisia korkeustietoja ja niitä ehdottomasti tarvitaan suunnittelutyötä varten, korkeusmallin tekeminen voi olla järkevää.

Miehittämättömällä ilma-aluksella voi nopeasti ja helposti dokumentoida suunnittelukohteen ympäröivää maastoa ja sen kosteus- ja kasvillisuusolosuhteita ilmakuvia ottamalla. Varsinkin peltoalueilla ilmasta näkee hyvin mihin kohti vesi on kerääntynyt.

9.3 Vesikasvillisuuden kartoitus miehittämättömän ilma-aluksen avulla

Veden pinnalla kelluvat kasvit näkyvät ortomosaiikissa hyvin ja pinnan yläpuolella kohtisuoraan ylöspäin kasvavat kasvitkin kohtalaisesti. Vesikasvillisuuden määrää on helppo arvioida ortomosaiikista silmämääräisesti. Kasvillisuuden peittämän alan laskeminen on todettu mahdolliseksi manuaalisesti tai automaattisen kuvantunnistusohjelman avulla (Husson, Ecke & Reese 2016, 15). Erilaiset panoraamakuvat sopivat myös vesikasvillisuuden havainnollistamiseen hyvin. Ongelmana vesikasvillisuuden kartoituksessa on veden vaikea kuvattavuus. Auringon ja pilvien heijastuminen veden pinnasta ja pinnan aaltoilu heikentävät kuvien selkeyttä. Mikäli

järvessä ei ole paljoa vesikasvillisuutta, ortomosaiikin luominen ei välttämättä onnistu fotogrammetrisella ohjelmalla (Pix4D 2017b, viitattu 29.9.2017).

10 POHDINTA

Tavoitteena oli selvittää, mitä lisäarvoa miehittämättömällä ilma-aluksella tehtävällä kuvauksella voidaan saada valuma-alue ja virtavesikunnostusten suunnitteluun ja voidaanko sen avulla säästää aikaa ja helpottaa maastotyötä. Lisäksi haluttiin selvittää miehittämättömän ilma-aluksen käytön mahdollisuudet järvien vesikasvillisuuden kartoituksessa. Näihin kysymyksiin etsittiin vastauksia kirjallisista lähteistä ja tekemällä koekuvauksia. Työssä selvisi, että miehittämättömän ilma-aluksen avulla voidaan muodostaa informatiivisia korkeusmalleja, ortomosaiikkeja ja panoraamakuvia. Lisäksi tavalliset ilmakuvat havainnollistavat hyvin kuvattavaa ympäristöä. Maastokatselmuksiin tarvittavaa työaikaa miehittämättömän ilma-aluksen käytöllä ei todennäköisesti pysty vähentämään, mutta maastossa tehtävää työtä se helpottaa ainakin vesikasvillisuuden kartoituksessa. Dronen hyödyntäminen on vaikeaa valuma-alueen suunnittelussa, mutta rajattujen kohteiden suunnittelun apuna se on hyödyllinen. Miehittämättömästä ilma-aluksesta olisi suurin hyöty silloin, kun sen käyttö olisi helppoa näköyhteyden ulkopuolellakin. Toivottavasti sitä yksinkertaistetaan lähitulevaisuudessa.

Opinnäytetyöprosessi oli haastava. Aihe sisälsi paljon asioita, joita ei opiskelujen aikana ollut tullut vastaan eikä niistä ollut omakohtaista kokemusta. Fotogrammetristen ohjelmien käyttö ei ollut entuudestaan tuttua. Jos kuvien prosessointiasetuksia olisi osannut paremmin säätää, olisi lopputuloksena voinut saada parempia karttoja. Myöskin olisi voinut selvittää, miksi korkeusmallin luominen epäonnistui ilman tukipisteitä.

Opinnäytetyöprosessin aikana opin paljon uutta miehittämättömistä ilma-aluksista ja fotogrammetriasta. Aiheen rajaaminen oli haastavaa ja työn tavoitteiden saavuttaminen vaati yllättävän paljon työtä. Opinnäytetyön haastavuutta lisäsi kotimaisten lähteiden puute. Aiheeseen liittyviä tutkimuksia ei juuri ole tehty suomeksi, vaan tieto oli kerättävä ulkomaisista lähteistä.

Vesikasvillisuuden kartoitus ei alun perin kuulunut opinnäytetyöhön. Etsityn tiedon perusteella veden syvyysmallinnuksen todettiin vaativan paljon kokemusta asiasta, ja siksi sitä päätettiin olla kokeilematta käytännössä. Kun vesikasvillisuuden kuvaaminen otettiin mukaan työhön, saatiin kuvattua kahta eri kohdetta, kuten työn toimeksiantaja toivoi. Vesikasvillisuuden kuvaamiseen sopivan kuvaussään selvittäminen olisi tärkeää parhaan kuvamateriaalin saamiseksi. Panoraaman

kuvaamista varten kameran kuvausasetusten säätämiseen tulisi perehtyä paremmin paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.

LÄHTEET

Agisoft 2017. Viitattu 5.7.2017, http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_presentation.pdf.

Alho, P., Hyyppä, H., Hyyppä, J., Flener, C., Kasvi, E., Vaaja, M., Kukko, A., Lotsari, E., Hohenthal, J., Kurkela, M., Kaartinen, H. & Haggrén, H. 2011. Uudet mittausmenetelmät jokiympäristön kartoituksessa. The photogrammetric journal of Finland, vol. 22 no.3. Viitattu 6.4.2017, https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Alho_et_al.pdf.

Aluevalvontalaki 18.8.2000/755.

Boon, M. A., Greenfield, R. & Tesfamichael, S. 2016. Wetland assessment using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Viitattu 6.4.2017, <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B1/781/2016/isprs-archives-XLI-B1-781-2016.pdf>.

DJI 2017a. Mavic specs. Viitattu 18.5.2017, <http://www.dji.com/mavic/info#specs>.

DJI 2017b. Phantom 4. Viitattu 18.5.2017, <http://www.dji.com/phantom-4>.

Drone mapper 2017. Viitattu 19.5.2017, https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing.

DroneDeploy 2017. Viitattu 15.5.2017, <https://blog.dronedeploy.com/accuracy-in-drone-mapping-what-you-need-to-know-10322d8512bb>.

Flener, C. 2011. Kaukokartoitusmenetelmät jokiympäristössä. Laaserkeilaus- ja korkeusmalliseminaari. Fluvial Research Group. Maantieteen ja Geologian laitos. Turun Yliopisto. Viitattu 6.4.2017, <http://docplayer.fi/23179570-Kaukokartoitusmenetelmat-jokiymparistossa.html>.

Flener, C. 2013. Estimating deep water radiance in shallow water: adapting optical bathymetry modelling to shallow river environments. Boreal environment research 18: 488-502. Helsinki. Viitattu 6.4.2017, <https://www.researchgate.net/publication/266211114>.

tattu 19.5.2017, https://www.researchgate.net/publication/258506747_Estimating_deep_water_radiance_in_shallow_water_Adapting_optical_bathymetry_modelling_to_shallow_river_environments.

Flener, C., Lotsari, E., Alho, P. & Käyhkö J. 2010. Comparison of empirical and theoretical remote sensing based bathymetry models in river environments. *River Research and Applications* 28: 118–133 (2012) Viitattu 19.5.2017, [http://www.utu.fi/en/sites/fluvial/research_examples/Documents/Flener%20et%20al.%20\(2012\).%20River%20Research%20and%20Applications.pdf](http://www.utu.fi/en/sites/fluvial/research_examples/Documents/Flener%20et%20al.%20(2012).%20River%20Research%20and%20Applications.pdf).

Flener, C., Vaaja, M., Jaakkola, A., Krooks, A., Kaartinen, H., Kukko, A., Kasvi, E., Hyypä, H., Hyypä, J. & Alho, P. 2013. Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing* 5(12):6382-6407. Viitattu 19.5.2017, https://www.researchgate.net/publication/258926553_Seamless_Mapping_of_River_Channels_at_High_Resolution_Using_Mobile_LiDAR_and_UAV-Photography.

Fonstad, M. A. & Marcus, W. A. 2005. Remote sensing of stream depths with Hydraulically Assisted Bathymetry (HAB) models. *Article in Geomorphology* 72(1):320-339. Viitattu 6.4.2017, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.522.4671&rep=rep1&type=pdf>.

Google 2017. Google Play. PrecisionFlight for DJI. Viitattu 26.9.2017, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.precisionhawk.inflightmobile&hl=en>.

Hagelberg, E., Karhunen, A., Kulmala, A., Larsson, R. & Lundström, E. 2012. Käytännön kosteikkosuunnittelu. Teho –hankkeen julkaisuja 1/2012. 4. painos. Maatalouden vesiensuojelun tehostaminen. Viitattu 6.4.2017, https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94187/K%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6n%20kosteikkosuunnittelu%20TEHO-hankkeen%20julkaisuja%201_2012_web.pdf?sequence=2.

Haggrén, H. 2002. Ortokuvien tuottaminen. Luento. Viitattu 5.7.2017, https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/L7_2005.pdf.

Haggrén, H. 2003. Ilmakuvaus. Luento. Viitattu 28.9.2017, https://foto.aalto.fi/opetus/300/luennot/8/L8_print2004.pdf.

Hassinen, A. 2016. UAV-lennokit ja -kopterit : Kokemuksia UAV- ja RPAS-laitteista. Mekrijärven tutkimusasema. Itä-Suomen yliopisto. Viitattu 4.4.2017, http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-2244-1/urn_isbn_978-952-61-2244-1.pdf.

Helander, I. 2015. UAV:n avulla tuotetun fotogrammetrisen pistepilven vertailu ja käytettävyys. Opinnäytetyö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.4.2017, http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94581/Helander_lisak.pdf?sequence=1.

Hokkanen, J. 2015. UAV-kopterin pistepilven tarkkuus. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.4.2017, http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93543/Hokkanen_Jeremia.pdf?sequence=1.

Husson, E., Ecke, F. & Reese, H. 2016. Comparison of Manual Mapping and Automated Object-Based Image Analysis of Non-Submerged Aquatic Vegetation from Very-High-Resolution UAS Images. Article in Remote Sensing 8(9) · September 2016. Viitattu 6.9.2017, https://www.researchgate.net/publication/307852426_Comparison_of_Manual_Mapping_and_Automated_Object-Based_Image_Analysis_of_Non-Submerged_Aquatic_Vegetation_from_Very-High-Resolution_UAS_Images.

Husson, E., Hagner, O. & Ecke, F. 2013. Unmanned aircraft systems help to map aquatic vegetation. Applied Vegetation Science Volume 17, Issue 3 July 2014 Pages 567–577. Viitattu 27.9.2017, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/avsc.12072/full>.

Hyvönen, S., Suanto, M., Luhta, P-L., Yrjänä, T. & Moilanen, E. 2005. Puroinventoinnit lijoen valuma-alueella vuosina 1998-2003. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 403. Tornio: Tornion Kirjapaino.

Ikola, T. 1999. Satelliittidatoista ja niiden tarkkuudesta. Seminaariesitelmä. Viitattu 18.5.2017, <https://foto.aalto.fi/opetus/270/esitelmat/1999/Timolkola/SEMINA.html>.

Jokinen, A-P. 2014. UAV-kuvaus kiviainesten kartoituksessa. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.5.2017, http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73860/Ari-Pekka_Jokinen.pdf?sequence=1.

Kosteikko-opas 2015. Alhainen, M., Niemelä, T., Siekkinen, J., Svensberg, M., Kuittinen, J., Nurmi, J., Väyrynen, H., Rautiainen, M., Väänänen, V., Nummi, P., Berndtson, S. & Korkiakoski, P. Toim. H. Väyrynen. Raisio: Newprint Oy. Viitattu 6.4.2017, <https://www.slideshare.net/Riistakeskus/kosteikkoopas>.

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Jyväskylä: Kopijyvä Oy. Viitattu 6.4.2017, http://virtual.ramk.fi/Tuotantoalat/eJulkaisu_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikka_Laurila.pdf.

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi 2011. Viitattu 3.4.2017, [https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-
alukset_ja_lennokit](https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-
alukset_ja_lennokit).

Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi 2016. Määräys OPS M1-32. Kauko- ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen. Viitattu 5.4.2017, https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf.

Luhta, P. 2008. Purokunnostushankkeen toteuttaminen. Teoksessa M. Ahola & M. Havumäki (toim.) Purokunnostusopas. Kajaani: Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, 24-25.

Lyzenga, D. 1978. Passive Remote-Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features. Article in Applied Optics 17(3):379-83 · February 1978. Viitattu 6.4.2017, https://www.researchgate.net/publication/41511121_Passive_Remote-Sensing_Techniques_for_Mapping_Water_Depth_and_Bottom_Features.

Maailmasta Oy 2017. Porojen etsintä. Viitattu 4.4.2017, <http://www.maailmasta.fi/porojen-etsinta/>.

Maanmittauslaitos 2017. Maastotietokanta on karttojen perusta. Viitattu 3.4.2017, <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/kartat/maastotietokanta-karttojen-perusta>.

Maaseutuvirasto 2017. Ei-tuotannolliset investoinnit. Lomake 195. Viitattu 10.11.2017, <http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljelijä/Documents/viljelijatukilomakkeet/195.pdf>.

Metsävainio, P. 2016. RPAS-info. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Viitattu 15.5.2017, https://www.trafi.fi/filebank/a/1479736310/93277b04eb7fbf79d388831a0159ff/23090-RPAS-infon_9_11_2016_esitykset.pdf.

New Atlas 2016. SenseFly gives its eBee drone bigger wings. Viitattu 9.10.2017, <http://newatlas.com/sensefly-ebec-plus/45801/>.

Paikkatietoikkuna 2017a. Viitattu 5.7.2017, http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta?ver=1.17&zoomLevel=10&coord=411438.156_7138020.35&mapLayers=base_35+100+default,24+100+default&markers=2|1|ffde00|411733.656_7138078.85|Kuuhkamonneva.

Paikkatietoikkuna 2017b. Viitattu 4.10.2017, http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta?ver=1.17&zoomLevel=8&coord=401607.61_7132284.882&mapLayers=base_35+100+default,24+100+default&markers=2|1|ffde00|401511.61_7133924.882|Piipsj%C3%A4rvi.

Paikkatietoikkuna 2017c. Viitattu 7.11.2017, http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta?zoomLevel=5&coord=410652_7137916&mapLayers=base_35+100+default&markers=2|5|ff3334|401472_7133808|___2|5|ff3334|411600_7138088|.

Pix4D 2017a. Support. Viitattu 29.9.2017, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459#gsc.tab=0>.

Pix4D 2017b. Support. Viitattu 29.9.2017, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558999-Is-it-possible-to-generate-the-Orthomosaic-of-Water-Surfaces-#gsc.tab=0>.

Pix4D 2017c. Support. Viitattu 28.9.2017, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-on-the-field-or-through-other-sources-optional-but-recommended-#gsc.tab=0>.

Pix4D 2017d. Support. Viitattu 18.5.2017, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558849-How-to-select-Camera-Focal-Length-and-Flight-Altitude-considering-the-desired-Ground-Sampling-Distance-and-Terrain-to-map-#gsc.tab=0>.

Pix4D 2017e. Pix4Dmapper. Viitattu 21.9.2017, <https://pix4d.com/product/pix4dmapper/>.

Pix4D 2017f. Pix4Dcapture. Viitattu 26.9.2017, <https://pix4d.com/product/pix4dcapture/>.

PTGui 2017. Viitattu 9.10.2017, <https://www.ptgui.com/>.

Rahko, S. 2015. Miehitettävien lentokoneiden (UAS) soveltuminen massalaskentaan. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu. Viitattu 6.4.2017, http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/94554/Rahko_Sampo.pdf?sequence=1.

Riistakosteikko-opas. Aitto-oja, S., Rautiainen, M., Alhainen, M., Svensberg, M., Väänänen, V-M., Nummi, P. & Nurmi, J. Pohjanmaan riistanhoitopiiri. Viitattu 10.11.2017, <http://www.epaper.fi/reader/?issue=11249;456dc1d4eb0c8876abb7410a9c43eb16>.

Rikoslaki 19.12.1889/39.

SenseFly 2017. EBee Plus. Viitattu 18.5.2017, <https://www.sensefly.com/drones/ebee-plus.html>.

Shintani, C. 2016. Comparing photogrammetric and spectral depth techniques in extracting bathymetric data from a gravel-bed river. Viitattu 15.5.2017, <http://hdl.handle.net/1794/20517>.

Sippo, M. 2013. Lennokkikartoitus – uusia näkymiä ilmasta. Maankäyttö 2/2013. 33-35. Viitattu 4.4.2017, http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk213/mk213_1647_sippo.pdf.

Valta-Hulkkonen, K., Partanen, S. & Kanninen, A.K. 2003. Conference Paper · January 2003 Source: DBLP Conference: ScanGIS'2003 - The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 4-6 June 2003, Espoo, Finland – Proceedings. Viitattu 27.9.2017, https://www.researchgate.net/publication/221013379_Remote_Sensing_as_a_Tool_in_the_Aquatic_Macrophyte_Mapping_of_a_Eutrophic_Lake_a_Comparison_Between_Visual_and_Digital_Classification.

Vesistöt kuntoon yhdessä - Kunnostus- ja hoitohankeopas 2014. Rahkila, R., Liuska, L., Pönkkö, S., Paakkonen, R. & Satomaa, M. Oulu: Joutsen Median Painotalo. Viitattu 6.4.2017, http://www.proagriaoulu.fi/files/vyyhti/kunnostusopas_vyyhti_pieni_tiedosto.pdf.

Woodget, A.S., Carbonneau, P.E., Visser, F. & Maddock, I.P. 2014. Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms* Volume 40, Issue 1, pages 47–64, January 2015. Viitattu 15.5.2017, <http://dro.dur.ac.uk/20542/1/20542.pdf?DDD14+dgg0pc>.

Yrjänä, T. 2008. Purojen ekologia ja nykytilanne. Teoksessa M. Ahola & M. Havumäki (toim.) *Purokunnostusopas*. Kajaani: Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, 14. Viitattu 6.4.2017, https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/yo_2008_purokunnostus_web.pdf.