
ILMAKUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN PELTOVILJELYSSÄ

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Mustiala, kevät 2015

Jarmo Oesch

MUSTIALA

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Maatilatalouden suuntautumisvaihtoehto

Tekijä	Jarmo Oesch	Vuosi 2015
Työn nimi	Ilmakuvauksen hyödyntäminen peltoviljelyssä	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Kaupan maataloussäätiö. Säätiön alaisuudessa toimii K-maatalouden koetila Hauhon Hahkialassa. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmakuvauksen käytön mahdollisuuksia peltoviljelyssä. Työssä kerron ilmakuvauksen maatalouteen luomista mahdollisuuksista ja menetelmistä, sekä esittelen maatalouteen soveltuvia kuvausmenetelmiä ja kuvaussensoreita. Lisäksi tavoitteena oli selvittää radio-ohjattavien, lennokkeja kehittyneempien ja monipuolisempien miehittämättömien ilma-alusten eli UAV-koneiden tämänhetkistä lainsäädäntöä.

Olen harrastanut useamman vuoden ajan ilmakuvausta ja lennokkien lennätystä. Vähitellen heräsi idea kuinka voisin hyödyntää harrastuksiani maataloudessa, ja päätin tehdä opinnäytetyön aiheesta. Alun perin tarkoitukseni oli kuvata omalla ilmakuvaukuskalustollani vuoden 2014 aikana erilaisia peltoja ja kasvustoja kerätäkseni tietoa työtä varten. Teknisten ongelmien vuoksi suurin osa suunnittelemistani kuvauksista jäi kuitenkin tekemättä. Aineistona työssä käytin enimmäkseen internetistä löytyvää aineistoa, aiheesta ei löytynyt juurikaan suomenkielistä kirjallisuutta.

Opinnäytetyöprosessin aikana selvisi, että valmisteilla on miehittämättömiä ilma-aluksia koskevia määräyksiä, jotka rajoittavat tekniikan käyttöä ilmakuvauksessa tulevana vuosina. Kaiken kaikkiaan oma käsitykseni ilmakuvauksen soveltuvuudesta maatalouteen Suomessa voimistui entisestään.

Avainsanat Ilmakuvaukset, Peltoviljely, Täsmäviljely

Sivut 21 s. + liitteet 4 s.

MUSTIALA

Degree Programme in Agriculture and Rural Industries
Agriculture Option

Author

Jarmo Oesch

Year 2015

Subject of Bachelor's thesis

Utilization of aerial photography in arable farming

ABSTRACT

The commissioner of the thesis is Trade Foundation of Agriculture. Under the auspices of the foundation operates K-Group experimental farm in Hahkiala near Hauho. The aim of this thesis was to research the possibilities of aerial photography in arable farming. This study focuses on the aerial photographing techniques and aerial sensors. The aim was also to find out legislation of unmanned aircraft, or UAV planes which are more advanced and more versatile than radio controlled airplanes.

Aerial photography and remote controlled planes have been my hobby for a few years for now. I began to think about how I could use my hobbies in agriculture. Then I realized that I could do my thesis for that. Originally the intention was to describe different fields and vegetations with my own model plane during the year 2014 as to gather information for thesis. Due to technical difficulties the largest part of the planned aerial photographings was not executed. The materials in this thesis were mostly gathered from material which is found in the Internet, there was not found lot of Finnish literature from subject

During the research it became obvious that there are in preparation regulations concerning unmanned aircraft which will restrict the use of the technique in aerial photography during future years. All in all, my idea of the suitability of aerial photography for agriculture in Finland strengthened further.

Keywords Aerial photography, arable farming, precision agriculture

Pages 21 p. + appendices 4 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	ILMAKUVAUS	2
2.1	Ilmakuvauksen historia	2
2.2	Ilmakuvaus Suomessa	2
	Ilmakuvatyypit.....	3
2.2.1	Viistokuva.....	3
2.2.2	Pystykuva	3
2.3	Ilmakuvausmenetelmät.....	4
2.3.1	Yleistä.....	4
2.3.2	Lennot.....	4
2.3.3	Leijat.....	5
2.3.4	Pallot.....	6
2.4	UAV	6
2.4.1	Lainsäädäntö.....	6
3	KUVAUSSENSORIT	7
3.1	Yleistä.....	7
3.2	Multispektri	7
3.3	Hyperspektri	8
3.4	NIR-kamera.....	8
3.5	Lämpökamera.....	9
3.6	Lidar	9
4	KUVAUSPROSESSI	9
4.1	Kuvaussuunnitelma	9
4.2	Signalointi	10
4.3	Ilmakuvauksen suorittaminen	10
5	PROSESSOINTI.....	10
5.1	Ortokuva.....	11
5.2	NDVI-kasvillisuusindeksi	11
5.3	Prosessointiohjelmat.....	12
5.4	3D-pintamalli	12
6	HYÖDYNTÄMINEN VILJELYSSÄ	12
6.1	Yleistä.....	12
6.2	Hyödyntäminen lannoituksessa.....	13
6.3	Hyödyntäminen kasvinsuojelussa	13
6.4	Hyödyntäminen vesitaloudessa	14
6.5	Muita sovelluksia	15
6.6	Ilmakuvaus valvonnassa.....	16
7	YHTEENVETO	17
	LÄHTEET	19

Liite 1 Miehittämättömien ilma-alusten käyttöä koskeva määräysluonnos

1 JOHDANTO

Ilmakuvaus on yksi täsmäviljelyn hyödyntämiskeinoista. Kasvukauden aikana tapahtuva ilmakuvaus on paras tapa hahmottaa pelloilla esiintyvää paikkakohtaista vaihtelua. Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa ilma-kuvausta ja täsmäviljelyä kehitetään yliopistojen, tutkimuslaitosten ja kaupallisten toimijoiden toimesta intensiivisesti. Uusia sovelluksia ja laitteita tulee markkinoille jatkuvasti.

Ilmakuvaus tuo monia uusia mahdollisuuksia täsmäviljelyyn. Ilmakuvauksella voidaan korvata esimerkiksi täsmälannoituksessa traktoriin kiinnitettävät n-sensorit. Ilmakuvauksen avulla voidaan pienentää myös muiden tuotantopanosten kuten kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Ilmakuvauksen yleisty- mistä hidastavia tekijöitäkin on kuitenkin vielä monia, kuten se että ilma-kuvaustekniikka on kallista ja palveluna sitä ei voi vielä helposti ostaa.

Tämän työn tarkoituksena on ensisijaisesti selvittää erityisesti viljanvilje- lyyn soveltuvia ilmakuvausten hyödyntämistapoja. Lisäksi työssä esitel- lään kuvaussensoreita ja kuvausmenetelmiä. Työssä perehdytään myös ilma-kuvausta koskevaan lainsäädäntöön.

2 ILMAKUVAUS

2.1 Ilmakuvauksen historia

Ilmakuvauksen historia alkaa ensimmäisten ilmakuvien otosta vuonna 1855. Kuvan otti ranskalainen valokuvaaja Gaspar Félix Nadar kuumailmapallosta. Ensimmäisen maailmansodan seurauksena lentokoneet kehittyivät merkittävästi, lisäksi 1920-luvulla kehitettiin sarjakuvaukseen kykenevät ilmakuvauuskamerat, jotka mahdollistivat kartoituksen ilmakuvien avulla. Sarjamittakameralla kuviin tuli niukasti päällekkäistä peittoa vain noin 20–30%. Laajakuvaobjektilla ja kuvien kokoa suurentamalla kartoitusta saatiin tehostettua huomattavasti. Ongelmia sen sijaan tuotti kuvauspaikan ja –suunnan määrittäminen kuvista. (Haggrén, 2003a, 7–9.)

Satelliittikuvauksen aikakausi alkoi 1970-luvulla ensimmäisten kuvaussatelliittien laukaisusta. Ilmakuvaustekniikan digitalisoituminen ja tiedonkäsittelyn automatisoituminen ovat vähentäneet tiedonkäsittelyyn kuluvan ajan murto-osaan entisestä (Haggrén 2011, 12–18).

Maataloudessa ilmakuvausta on alettu tutkia 1950-luvulta lähtien. Yhdysvaltojen hallinnon rahoittamassa LACIE projektissa pyrittiin hyödyntämään satelliittien lähettämää tietoa maataloudessa. Laajamittainen peltojen ilmakuvaukseen mahdollistui vuonna 1972, jolloin laukaistiin ensimmäinen landsat multispektrikameralla varustettu satelliitti. Satelliittia käytettiin vehnän satotason kartoitukseen suurella alueella. LACIE ohjelman aikana vuonna 1977 onnistuttiin mittaamaan koko Neuvostoliiton vehnäsato tarkasti 6 viikkoa ennen korjuuta. (Rundquist & Nellis 2009.)

2.2 Ilmakuvaukseen Suomessa

Suomen ensimmäisiä ilmalokuvia otettiin 1929, jolloin Karhumäen veljekset ottivat ensimmäiset ilmakuvat Jyväskylästä lasinegatiiveille. Ensimmäinen valtakunnallinen peruskartoitus suoritettiin ilmakuvauksena vuosina 1947–1977. Muilla menetelmillä kartoitus ei olisi onnistunut. (Haggrén, 2003a, 7–9.)

Suomessa tunnetuin maatalouden ilmakuvauksovellus on Maaseutuviraston ylläpitämä peltolohkokisteri, johon kuuluu kaikkiaan noin 1 150 000 peltolohkoa. Ortokuvista analysoidaan peltolohkojen kokoa, jonka perusteella maksetaan maataloustuki pelloille. Rekisteriä päivitetään yhteistyössä maanmittauslaitoksen kanssa säännöllisesti. (Matikainen & Hyyppä & Karila & Vaaja & Kukko 2011, 108–109.)

Peltoviljelyssä ilmakuvausta on alettu kehittää Suomessa 1999, jolloin Kemira GrowHow alkoi tarjota Loris peltojen ilmakuvaukspalvelua. Palvelun tilanneiden viljelijöiden pelloista otettiin muutaman kilometrin korkeudella lentävästä lentokoneesta väärävari-ilmakuvia korrenkasvun alkuvaiheessa. Väärävarikuvista tuotettiin erilaisia tietoja kertovia karttoja. Palvelussa tarjottiin kolmea eri palvelupakettia, peruspaketti 1, 2 ja satopaketti. Peruspaketti yhteen kuului väärävari-ilmakuva ja vihermassakartta pellosta, jotka

toimitettiin kahdeksan päivän kuluessa kuvauksen jälkeen. Peruspaketti 2 vastasi sisällöltään ensimmäistä pakettia, mutta kuvien käsittely kesti kauemmin ja kuvat toimitettiin viimeistään elokuun lopussa. Peruspaketti 2 maksoi noin 4,3€/hehtaari, kun peruspaketti 1 maksoi 6,1€/hehtaari. Satopaketti oli kevätvehnälle, ohralle ja kauralle suunniteltu palvelu. Paketti sisälsi väärävärin kuvan, vihermassakartan, satokartan, valkuaispotentiaalikartan, lisälannoitusosuituksen vehnälle ja traktorin työkoneen ohjaustiedoston lannoitusta varten. Satopaketin hinta oli noin 9,8 euroa hehtaarilta, tämän lisäksi oli perusmaksu 100 euroa tilaa kohden. (Mustonen 2003, 42–44.)

Palvelun kehittämiseen satsattiin merkittävästi, mutta ongelmia oli runsaasti. Maksimissaan tiloja oli mukana 250, eri puolilla Etelä-Suomea. Haastavaa oli saada ilmakuvien kuvauskierros sovitettua juuri oikeaan kasvuasteeseen, ja onnistua saamaan kuvat otettua niin, että pilvisuus tai muut säähäiriöt eivät päässeet turmelemaan kuvia. Useana vuonna osasta mukana olleita lohkoja ei saatu ollenkaan kuvia pilvisyyden takia. Viljelijöiden alkuinnostuksen loppaessa ja kuvien epäonnistuessa tilajamäärät vähenivät, viimeinen kuvausvuosi oli 2005. Viimeisen naulan arkkuun löi GrowHow'n myynti Yaralle, jonka jälkeen koko palvelu haudattiin. (Knaapi 2010, 105–106.)

2.3 Ilmakuvatyytit

2.3.1 Viistokuva

Viistokuva on ilmakuvatyyteistä tunnetuin. Viistokuva kattaa kuvat, jotka on otettu ilma-aluksesta alle 90 asteen kulmassa. Viistokuvista havainnollistuu hyvin suurikin kuvausalue, mutta horisontissa kuvan tarkkuus heikkenee nopeasti. Korkeat maastonkohteet, kuten rakennukset ja puut aiheuttavat katvealueita, jotka vähentävät maaston näkyvyyttä. Viistokuvia otetaan yleensä mainos- ja myyntitarkoituksiin. Useat yritykset myyvät helikopterista otettuja viistokuvia taloista ovelta ovelle kiertäen. (Poutanen 2014.)

2.3.2 Pystykuva

Pystykuva tarkoittaa ilmakuvaa, joka on otettu ilma-aluksesta alaspäin. Kuvien ei täydy olla aivan pystysuoria, pieni kallistus pystytään korjaamaan kuvien prosessointiohjelmilla. Pystykuvia hyödynnetään yleensä kartoitus-tarkoituksissa tai ortokuvien aineistona. Myös maataloussovelluksissa käytetään yleensä pystykuvausta, koska kuvat ovat kuin palapeli ja ne voidaan helposti yhdistää toisiinsa. (Poutanen 2014.)

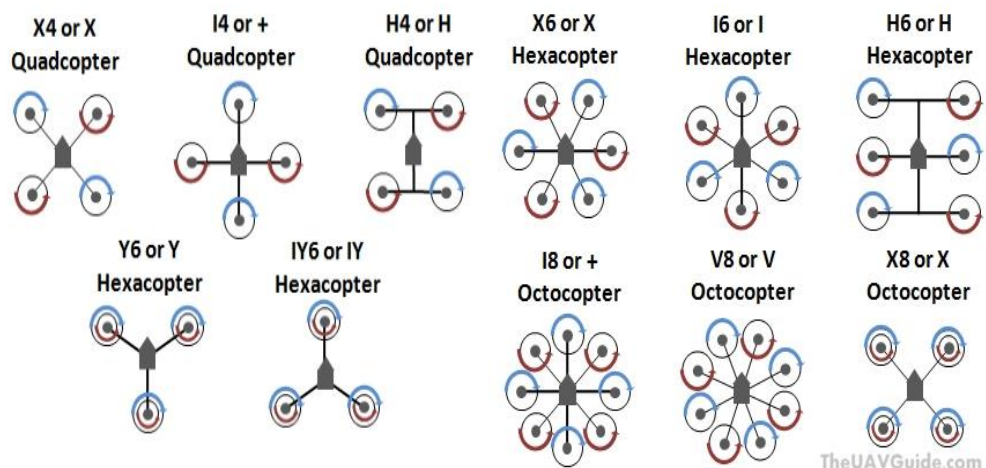
2.4 Ilmakuvausmenetelmät

2.4.1 Yleistä

Perinteisesti kaukokartoitus on suoritettu lentokoneista pystykvauksena 2450–5000 metrin korkeudesta, tällöin kuvien resoluutio on noin 0,5 metriä. Kuvaus korkealta on erittäin tehokasta, sillä lentonopeutta voidaan pitää 200 km/h. Toinen perinteinen kaukokartoitusmenetelmä on satelliittikuvaus. Kummatkin, satelliitti- ja lentokonekuvaus, vaativat suuret kertakuvausalat ja pilvettömän sään, jotta kuvaus onnistuu. Maatalouskäyttöön satelliitteja ja lentokoneita on Yhdysvalloissa käytetty jo kauan, ja ne soveltuvatkin hyvin satojen hehtaarien kokoisille lohkoille. Pienille lohkoille voisi soveltua paremmin käyttökuluiltaan edullisemmat alle 150 metrin korkeudesta suoritettavat kuvausmenetelmät, esimerkiksi lennökkikuvaus, leijakuvaus ja pallokuvaus. (Maanmittauslaitos 2014.)

2.4.2 Lennokit

Erilaiset kauko-ohjatut lennokit ovat yleistyneet nopeasti viime vuosina kaukokartoituksessa. Lennokkien hintojen nopea halpeneminen on nostanut ne yhdeksi helpoimmista vaihtoehdoista ilmakuvauksessa. Lennokit voidaan jakaa kiinteäsiipisiin perinteistä lentokonetta muistuttaviin, helikoptereihin ja moniroottorisiin multikoptereihin. Multikopteria ohjataan moottorien kierrosnopeutta muuttamalla säätäen näin moottorin tuottamaa nostetta. Multikopterin aivoina toimii rungon keskipisteeseen sijoitettu ohjausyksikkö, joka pitää koneen vakaana usean gyroskoopin ja kiihtyvyyssanturin avulla. Multikopterien päätyypit ovat kolmiroottorinen trikopteri, neliroottorinen quatkopteri, kuusiroottorinen hexakopteri ja kahdeksanroottorinen octokopteri. Multikoptereissa voi olla useita erilaisia roottoriasetelmia, kuten alla olevasta kuvasta nähdään. (The UAV Guide 2014.)



Kuva 1. Eri multikopteri tyyppejä (The UAV Guide 2014)

Parhaiten lennokeista suurien peltoalueiden kartoitukseen soveltuvat delta-siipi- ja liidokki tyyppiset lennokit. Kummassakin edellä mainitussa yhdistyy hyvä vakaus ja pieni energiankulutus. Kärkiväliltään alle kaksi

metriset kuvauslennokit toimivat lähes poikkeuksetta sähkömoottorilla. Polttomoottorista on hyötyä vasta isoissa kärkiväliltään yli kolmemetrisissä lennokeissa. Multikopterit eivät sovellu yhtä laajojen alueiden kertakuvaukseen kuin kiinteäsiipiset lennokit. Multikopterien energiankulutus on merkittävästi suurempi, yhdellä akullisella voidaan lentää kymmenestä kolmeen kymmeneen minuuttiin. Myös lentonopeus jää huomattavasti kiinteäsiipisiä hitaammaksi. (Teli, Jagtap, Nadekar, Gudade, More & Bhagat 2014.)

Maatalouskäytössä pärjätään hyvin siipiväliltään alle metrisellä ja alle kilon painoisella lennokilla. Tämän kokoinen kone pystyy kuvaamaan akullisella jopa 200 hehtaaria. Markkinoilla olevien ilmakuvauslennokijärjestelmien valmistajat löytyvät pääosin Keski-Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta. Suomen markkinoille on ennättänyt vasta Geotrim Oy:n myymä belgialaista alkuperää oleva trimble ux5, jolla on hintaa noin 30 000 euroa. (Geotrim 2014.)

Markkinoilta löytyy lisäksi erityisesti maatalouskäyttöön suunniteltuja lennokijärjestelmiä, kuten sveitsiläinen SenseFly eBee Ag (kuva 2) sekä Yhdysvaltalainen Cropcam. Ebee Ag on kärkiväliltään 96 senttimetrinen sähkötoiminen deltasiiپی. Se on valmistettu joustavasta epp-muovista ja lentopaino kameran kanssa on 0.71 kg. Valmistaja tarjoaa koneeseen 5 erityyppistä kuvaussensoria, mukaan lukien multispektri- ja lämpökamera. Hintaa järjestelmälle kertyy noin 10 000 euroa + sensorien hinta. (Sensefly 2014.)



Kuva 2. SenseFly eBee Ag miehittämätön ilma-alus (Sensefly 2014)

2.4.3 Leijat

Erilaiset ilmakuvausleijat soveltuvat kohtuullisesti peltojen kuvaukseen. Leijakuvauksen etuna on järjestelmän edullinen hankintahinta ja sen opeointi ei vaadi lupia. Haittapuolena leijakuvauksessa on sen vaatima tuuli

ja hitaus, leijaa pitää kuljettaa kuvattavan kohteen urittain riittävän tiheinkin välein. Aikaa kuluu erityisesti mahdollisten esteitten, kuten sähkölinjojen alitukseen. Leijakuvaus sopii parhaiten aukeille alueille alle kymmenen hehtaarin kertakartoituksiin. (Tiusanen 2012, 16–17.)

2.4.4 Pallot

Ilmakuvaus on myös mahdollista heliumpallolla. Halkaisijaltaan noin 2 metrin heliumpallo jaksaa nostaa tarvittavat sensorit ilmaan. Heliumpallokuvauksessa vaatii tyynen kelin. Kuten leijakuvaus myös pallokuvauksessa on hidasta, näitä kuvausmenetelmiä ei voi suositella muutamaa hehtaaria suurempiin kuvauksiin. Heliumpallon kanssa kuvatessa siirtyminen toimii kävelemällä kuvausalueella. Pallokuvauksen yksi suurimmista haasteista on lennättäminen niin, ettei jokaisessa kuvassa näy lennättäjää, siimaa tai pallon varjoa.

(Wolf 2006, 17–20.)

2.5 UAV

Miehittämättömät ilma-alukset (UAV) ja miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät (UAS) ovat miehittämättömän ilmailun termejä. UAV-termi kattaa kiinteäsiipiset, helikopteri, multikopteri ja ilmalaiva tyyppiset miehittämättömät ilma-alukset, jotka toimivat sähköllä tai polttomoottorilla. UAS kattaa sekä miehittämättömän ilma-aluksen ja siinä olevat sensorit että maaseman. UAV-aluksia on monessa kokoluokassa aina armeijoiden käyttämisestä täysikokoisista lentokoneista muutaman kilon painoisiin siviilikäyttöön suunniteltuihin aluksiin. UAV-laitteiden yleisimmät käyttökohteet ovat armeijoilla sotilastiedustelu ja ilmatorjunnan harjoitusmaalit, sekä siviilipuolella erilaiset etsintä- ja kartoitustyöt. Suurin Suomessa käytössä oleva UAS-järjestelmä on puolustusvoimien käyttämä Oerlikon Ranger-järjestelmä. Koneen maksimi lentoonlähtöpaino on 275 kiloa ja siipiväli 5,7 metriä, koneita käytetään tiedusteluun, valvontaan ja tulenjohtoon. Näin suuren koneen lennätys vaatii ilmatilan sulkemisen muulta ilmaliikenteeltä. (Vanhala 2012, 67.)

2.5.1 Lainsäädäntö

Lennoikkien, erityisesti multikopterien yleistymisen on tuonut monia ongelmia, kuten koneiden tippumisesta johtuvia onnettomuuksia. Tämän johdosta niiden käyttöä rajoittamaan on laadittu lainsäädäntö. Uuden lainsäädännön tarkoituksena on suojella kolmansia osapuolia eli muita ilma-aluksia ja maassa olevia ihmisiä. Uudessa laissa kauko-ohjattavat ilma-alukset jaetaan kahteen ryhmään, lennokkeihin ja miehittämättömiin ilma-aluksiin. Lennokiksi määritellään alus, jossa ei ole ohjaajaa ja sitä käytetään harraste- tai urheilutarkoituksiin. Miehittämättömäksi ilma-alukseksi määritellään alle 20 kiloa painavat ilma-alukset, joita käytetään ansaintamielessä johonkin tiettyyn tarkoitukseen. Ilmailulaissa ei ole säädetty muita käyttöä rajoittavia säännöksiä, vaan ne määrää liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, jolla

on oikeus antaa määräyksiä lennokeille ja miehittämättömille ilma-aluksille. (Ilmailulaki 864/2014 2§.)

Trafi ei ole vielä saanut valmiiksi miehittämättömiä ilma-aluksia koskevaa määräystä, vasta määräysluonnoksen. Määräysluonnoksessa OPS M1-23 on suunniteltu muun muassa maksimi lentokorkeudeksi 120 metriä maanpinnasta, maksimi lentoetäisyydeksi 500 metriä ohjaajasta ja ilma-alukseen tulee olla jatkuva näköyhteys. Operointiin vaaditaan tähystäjä, sekä ohjaaja joiden tulee olla vähintään 18-vuotiaita, sekä ohjaajalla tulee olla pätevyys lennättää ilma-alusta. Laitteiston teknisiä vaatimuksia on ohjaussignaalin voimakkuuden/riittävyden ilmoittava telemetrijärjestelmä. Ohjaus- ja valvontayhteys on suojattava sähkömagneettisten häiriöiden varalta. Käytössä tulee olla järjestelmä, joka keskeyttää lennon, jos ohjaaminen estyy vian tai yhteyden katkeamisen johdosta. Lentoonlähtömassan ollessa 5 kg tai yli tulee ilma-alus varustaa järjestelmällä, joka vähentää liike-energiaa ja päästää varoitusääntä hätätilanteessa. (Trafi 2014.)

3 KUVAUSSENSORIT

3.1 Yleistä

Ilmakuvaussensorit ovat kehittyneet digitaalisten kameroiden yleistettyä nopein askelin. CCD-kennoon (Charge coupled device) perustuvalla digitaalisella kameralla saadaan laadultaan parempia kuvia kuin vanhoilla analogisilla kameroilla, ja kuvat ovat heti helposti hyödynnettävässä digitaalisessa muodossa. Maanmittauslaitos siirtyi 2009 käyttämään digitaalista ilmakuvaukaskameraa (Ilves 2009, 20). Ilmakuvauksessa voidaan käyttää monia erityyppisiä kuvaussensoreita riippuen halutusta datasta. Eniten dataa saadaan käyttämällä spektrikuvausta, jossa kuvataan kohteen heijastamia valon eri aallonpituuksia.

3.2 Multispektri

Spektrikuvauksessa tieto kerätään eri taajuuksilla sähkömagneettisen spektrin alueella. Multispektrikamerassa data kerätään yleensä erilaisten filttorien läpi. Multispektrikameralla kuvauksessa käytetään yleisimmin alle kymmentä aallonpituuskaistaa. Spektrikuvauksella pystytään kuvaamaan aallonpituuksia, joita ihmissilmä ei erota, aina lähi-infrapuna-alueelle asti. Maatalouskäyttöön suunnitelluilla multispektrikameroilla pystytään kuvaamaan aallonpituuksia välillä 400 nm – 1000 nm. (Tetracam n.d.)

Multispektrikamera sopii aallonpituusalueensa puolesta parhaiten kasvillisuuden kuvaamiseen. Sensoreiden koko on kehityksen seurauksena pienentynyt merkittävästi, pienimmät painavat noin 90 g ja ovat asennettavissa pieniin UAV-lennokkeihin. Lennokkiin sopiva kamera maksaa noin 3000 euroa, hinta on vielä normaaleihin kameroihin verrattuna korkea, mutta sen voidaan olettaa laskevan huomattavasti myyntimäärien kasvaessa. (Tetracam n.d.)

3.3 Hyperspektri

Hyperspektrikuvauksessa säteilyä mitataan useilla kymmenillä, jopa sadoilla eri aallonpituuskaistoilla. Hyperspektrikamerassa käytetään yleisimmin prisma- tai hilaspektrometriä. Spektrometri taittaa läpikulkevan säteilyn aallonpituuksien perusteella kuvauskennon eri pikseleille. Hyperspektrikamera kuvaa nopeasti suuren määrän kapeita aallonpituuskaistoja ja muodostaa näistä hyperspektrisen kuution datankäsittelyä ja analysointia varten. (Saari 2013, 11.) Hyperspektriseen kuutioon on ahdettu kaikki data kompaktiin muotoon. (kuva 3)

Suomessa on vankkaa osaamista hyperspektrikameroiden saralla. VTT on kehittänyt erikokoisia hyperspektrikameroita, esimerkiksi avaruuteen lähetetystä aalto-1-satelliitissa on yksi kamera. VTT:n UAV lennokkeihin kehittämää kevyttä hyperspektrikameraa valmistaa oululainen Rikola Oy. Oulusta löytyy myös toinen firma Specim Oy, joka valmistaa hyperspektrikameroita teollisiin tarpeisiin. (Helsingin sanomat 2014.)



Kuva 3. Hyperspektrisessä kuutiossa näkyy joka pikselin arvo eri aallonpituusalueella (Nasa n.d.)

3.4 NIR-kamera

Lähellä näkyvän valon aluetta säteilevää infrapunaa kutsutaan lähi-infrapunaksi (NIR = Near Infra Red). Normaalista digikamerasta voidaan tehdä NIR-kamera poistamalla kuvauskennon edestä infrapunan estosuodin ja vaihtamalla tilalle erikoisvalmisteinen suodin, joka parantaa NIR-alueen

kuvaustarkkuutta. NIR-kamera soveltuu parhaiten kasvillisuuden kuvaukseen. (Publiclab n.d.)

3.5 Lämpökamera

Kappaleet ja elävät olennot säteilevät lämpöä, jota ei ihmissilmällä näe, mutta sopivalla sensorilla se saadaan kuvan muotoon. Infrapuna-alueen säteilyssä on vähän energiaa, joten kamerassa tarvitaan sensorin jäähdytystä hyvään tarkkuuteen päästäkseen. Kaikissa kameroissa ei kuitenkaan ole jäähdytystä, joten lämpökamerat voidaan jakaa jäähdytettyihin ja jäähdyttämättömiin. Jäähdytin lisää huomattavasti kamerasäteen painoa, joten miehittämättömässä ilmakuvauksessa käytetään yleensä jäähdyttämättömiä lämpökameroita. (Flir n.d.)

Lämpökameralle löytyy runsaasti käyttötarkoituksia, ilmasta käsin sillä voidaan etsiä kadonneita ihmisiä, kaukolämpöverkon vikoja tai paikantaa kyteviä metsäpaloja. Maataloudessa lämpökameraa voidaan käyttää maanpinnan lämmön seurantaan keväällä ja sadetuksen tarpeen arviointiin kesällä. Yhdysvalloissa lämpökuvauksella on käytetty suurien center pivot kastelujärjestelmien vajaatehoisten suuttimien paikantamiseen.

3.6 Lidar

Lidar on optinen kaukokartoituslaite, joka mittaa etäisyyttä kohteeseen eli ottaa topografisia kuvia. Laitteen toimintaperiaate on lähellä tutkaa, mutta se käyttää mittaukseen pulsseittain lähetettäviä lyhempiä aallonpituuksia. Lidar on lyhenne sanoista Light Detection and Ranging. (Fuegro earthdata 2011.)

Suomessa Lidar-tekniikan tunnetuimpia käyttökohteita on metsän laserkeilaus, jossa sitä käytetään runkojen pituuden, määrän ja biomassan mittaukseen. Tekniikka onkin jo otettu laajasti käyttöön metsätalouden kartoituksessa. Muita tunnettuja käyttökohteita on maanmittaus ja geologinen tutkimus. Lidar-kuvaukset suoritetaan useimmiten lentokoneella tai satelliitilla. Lentokoneella saadaan tarkempaa aineistoa lyhemmän kuvausetaisyyden takia. Lidar-kuvauksen lopputuotteena ei saada varsinaista kuvaa, vaan pistepilvi, josta voidaan erotella haluttu tieto. Lidar-kartoitusta voidaan hyödyntää maataloudessa kasvuston korkeuden ja maanpinnan korkeuserojen kartoitukseen. (Lehtonen 2013, 6–8)

4 KUVAUSPROSESSI

4.1 Kuvaussuunnitelma

UAV-lennokkia käytettäessä pitää ennen lentoa tehdä lentosuunnitelma. Suunnitelmasta käy ilmi lentosuunta, lentokohta ja lentokorkeus. Suunnitelma ladataan lennokin autopilottiin, joka lentää automaattisesti suunnitellun reitin. Matalalta suoritettussa kuvauksessa tulee kuvaan saada pituuspeittoa yli 70 prosenttia ja sivupeittoa vähintään 50 prosenttia. Pituuspeitolla

tarkoitetaan peräkkäin lentosuunnassa otettujen kuvien päällekkäisyyttä. Sivupeitolla tarkoitetaan vierekkäisten lentolinjojen kuvien sivusuuntaista päällekkäisyyttä. Suurta peittoa käytettäessä ei merkittävästi haittaa, vaikka osa kuvista epäonnistuisi. Osa autopiloteista osaa laukaista kameran automaattisesti oikeissa kohdissa. Toinen vaihtoehto on käyttää ajastinta, joka laukaisee kameran määrätyn väliajoin. Tällöin laukaisuväli tulee suhteuttaa manuaalisesti sopivaksi lentonopeuteen ja -korkeuteen nähden, että kuvien peittoaste pysyy riittävänä. (Haggrén 2003b.)

4.2 Signalointi

Signaloinnilla merkitään kartoitusalueelle kohteita, joita halutaan kartalta erottaa. Tällaisia kohteita voi olla vaikka rajapyykit tai pellolla salaojakai-vojen paikat. Signalointipisteitä käytetään myös osoittamaan GCP (ground control point) –sijainnit, joita käytetään ortokuvien prosessointiin ja kuvien orientointiin koordinaatistoon. Signaalipisteitä on monen erimallisia ja -muotoisia. Yleisimmin lentokoneilla tehtävässä kartoituksessa käytetään suuria valkoisia puisia tai muovisia ristejä. Matalammalta tehtävissä kuvauksissa käytetään yleensä mustia pistesignaaleja. (Haggrén 2003a, 6–10.)

4.3 Ilmakuvauksen suorittaminen

Kuvauksen suorittamisessa tulee ottaa huomioon keliolosuhteet, lennokki- ja pallokuvaus vaativat mieluiten alle 4 m/s tuulen. Leijakuvaus vaatii 4-11 m/s tuulen, riippuen leijatyypistä. Liian voimakas tuuli aiheuttaa tärinää ja heiluntaa, joka heikentää kuvien laatua. Ilmakuvauksalustat voidaan varustaa mekaanisella tai digitalisella kameran vakainjalustalla. Vakainten käyttö nopeuttaa kuvien prosessointia, sekä parantaa saatavan ortomosaiikin tarkkuutta. Lentokoneella tehtävässä kuvauksessa rajoittaa samat tekijät, kova tuuli ja pilvisuus. Lentokoneilla ja satelliiteilla kuvattaessa pienikin pilvisuus voi estää kuvaukset kokonaan.

Kuvausajankohtana sään tulisi olla sateeton, sumuton ja mieluiten myös pilvetön. Auringon korkeuskulman tulisi olla mahdollisimman suuri. Varjot ja muut valaistuserot kuvausalueella saattavat vääristää kuvaussensorien tuottamaa dataa.

Ennen lentoa koko lennätyslaitteisto ja sensorit kannattaa tarkistaa huolellisesti. Pienikin huolimattomuus voi kostautua kalliisti sensorin törmätessä johonkin tai tippuessa maahan. Lennokissa siivekkeitä ohjaavan servomootorin, potkurin tai moottorin vika johtaa normaalisti koneen tippumiseen, kuvaukskoneessa tulisikin olla laskuvarjo ongelmatilanteita varten.

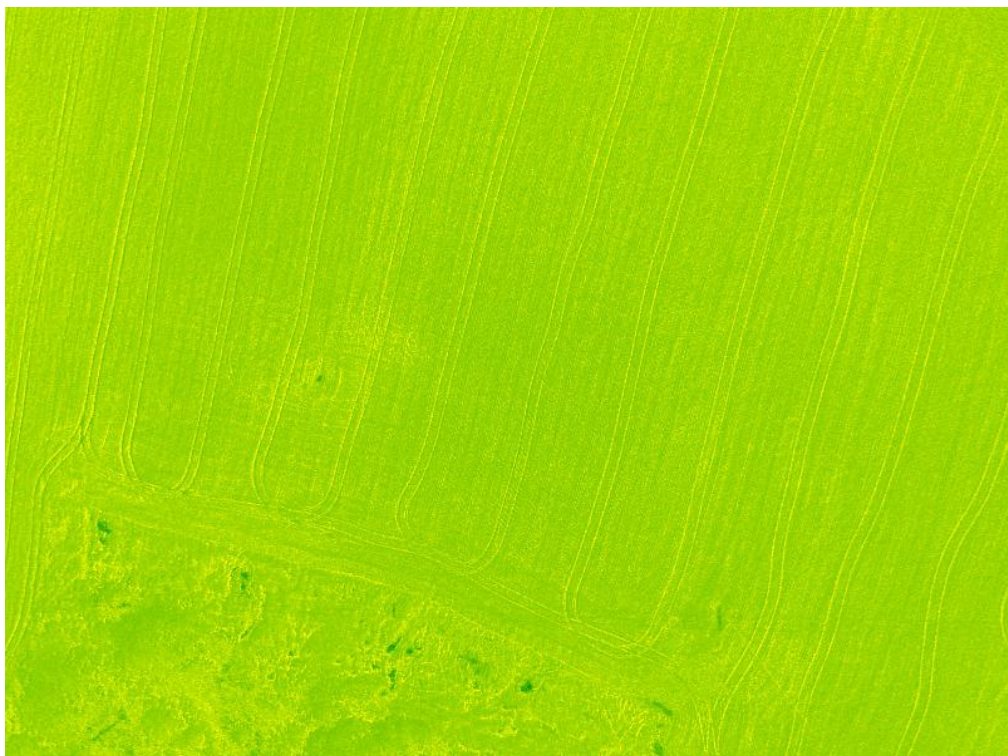
5 PROSESSOINTI

5.1 Ortokuva

Ortokuva on koordinaatistoon sidottu maastoa tarkasti vastaava ilmakekuva. Se on luotu yhdistämällä pystykuvia ortokuvamosaiikiksi prosessointiohjelmalla. Ortokuvissa ilmakekuvan perspektiivi muutetaan keskusprojektiosta projektiomuunnoksena ortogonaaliseen tasoprojektioon ja kuvat kiinnitetään käytettävään koordinaatistoon. Ortokuvasta voi mitata kohteiden kokoa ja sitä voidaan käyttää paikkatieto-ohjelmissa ja järjestelmissä karttapohjana. Erilaisissa julkisissa karttapalveluissa olevat ilmakekuvaineistot ovat yleensä ortokuvia. Niitä käytetään yleisesti suunnittelussa ja kartoituksessa. (Sippo 2013, 16–18)

5.2 NDVI-kasvillisuusindeksi

NDVI-kasvillisuusindeksi eli normalisoitu kasvillisuusindeksi kuvaa kartoitetun alueen lehtivihreän määrää. NDVI-arvo saadaan vertaamalla kohteen heijastaman punaisen valon (RED) ja lähi-infrapunan (NIR) aallonpituusalueiden heijastusmäärää. $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$. NDVI-arvot voivat vaihdella välillä -1 – +1. Kuvissa lähellä nollaa olevat NDVI-arvot näkyvät punaisella, ja ne viittaavat vähäiseen lehtivihreän määrään. Lähellä +1 olevat arvot näkyvät kartassa vihreänä ja niissä lehtivihreän määrä on lähellä maksimia. Lähellä -1 olevat arvot näkyvät mustana, tällaiset arvot tarkoittavat paljasta maata tai kalliota. (Price & Price 2009, 1–2.) NDVI-kasvillisuusindeksistä hahmottuu hyvin lehtivihreän kunto. (kuva 4)



Kuva 4. NDVI-kasvillisuusindeksi kaurapellosta (Oesch 2014)

5.3 Prosessointiohjelmat

Ilmakuvien prosessointi voidaan suorittaa omalla tietokoneella siihen soveltuvalla ohjelmalla tai prosessointia varten kuvat voidaan myös lähettää helsinkiläiselle PIEnengineering Oy:lle, joka tarjoaa ilmakuvien prosessointia ortokuvamosaiikiksi. Markkinoilta löytyy useita prosessointiohjelmiä. Suomalaisia ohjelmia on PIEnengineering Oy:n Rapid, sekä Mosaic Mill Oy:n EnsoMOSAIC-sovellus. Maailmalla laajasti käytetty Agisoft Llc:n Photoscan Professional ohjelma on myös Suomessa käytössä. Ohjelmalla pystytään käsittelemään multispektri, lämpökamera ja NIR ilmakuvia ortokuvamosaiikiksi. Ammattimaiset ohjelmat ovat kalliita hankkia, esimerkiksi Photoscan Professional maksaa 2800 euroa. Monista kalliimmista ohjelmista on saatavilla 30 päivän kokeiluversio, joilla voi testata omaan tarpeeseen parhaiten sopivan ohjelman, yleensä kokeiluversiosta puuttuu joitain täysversion ominaisuuksia. (Agisoft 2014a.)

Ilmakuvia voidaan liittää toisiinsa myös ilmaisilla ohjelmilla. Microsoft tarjoaa käyttöön panoraamakuvien yhdistämiseen kehitetyn Microsoft Image Composite Editor (ICE). Ohjelmaa voidaan käyttää myös ilmakuvien liittämiseen, lopputulos ei vastaa kalliiden ortomosaiikkikuvien tasoa, mutta voi riittää yksinkertaisimmissa käyttökohteissa. (Turkley 2012, 23.)

5.4 3D-pintamalli

3D-pintamalli on kolmiulotteinen maanpintaa myötäilevä ilmakuvasta tuotettu malli, josta näkyy myös rakennukset ja kasvillisuus. Ilmakuvista saadaan tehtyä kolmiulotteinen pintamalli ainakin Agisoft Llc:n Photoscan Professional ohjelmalla. Ohjelma tuottaa kuvista tiheän pistepilven, josta se yhdistää 3d-mallin. 3D-mallista saadaan luotua ortokuvamosaiikki tai teksturoitu 3d-malli. (Agisoft 2014b, 4.)

Tarkkoja 3d-malleja voidaan käyttää hyödyksi lukuisissa sovelluksissa. Käyttökelpoisin se on maa-ainesvarastojen ja maamassojen tilavuuden mittaamiseen. Myös terminaalimassojen, kuten hakkeen, määrää voidaan kohtalaisen tarkasti arvioida 3d-mallin avulla. 3d-mallin tarkkuus riippuu eniten ilmakuvan laadusta. Kuvanlaatuun vaikuttaa eniten lennätysjärjestelmän ja kameran yhteinen suorituskyky. Hyvä kamera ei pysty paikkaamaan esimerkiksi epävakaa lennokin tärinää. Optimitilanteessa voidaan päästä senttimetriluokan tarkkuuteen 3d-pintamallin korkeustarkkuudessa. (Sippo 2013, 16–18.)

6 HYÖDYNTÄMINEN VILJELYSSÄ

6.1 Yleistä

Ilmakuvauksen hyödyntämiseen peltoviljelyssä löytyy jo monia vaihtoehtoja. Helpoin ja edullisin tapa ilmakuvien hyödyntämiseen on Mavin lähettämien lohkojen väärävärικuvien tulkitseminen. Enää karttoja ei lähetetä, mutta samat tiedot löytyvät internetistä paikkatietopalveluista. Keväällä

otetuista väärävärikuvista voidaan muun muassa tarkastella maalajivaihte-luita pellolla, alueiden rajojen hahmottaminen voi olla viljelyn suunnittelun kannalta helpompaa ilmakuvien avulla. (Kleemola 2013, 1–2.)

Ilmakuvista saatavaa tietoa voidaan hyödyntää joko ennakkosuunnittelutie-tona tai siitä voidaan tehdä teemakartta, joka syötetään työkonetta ohjaa-valle ajo-opastimelle. Ajo-opastimia, jotka pystyvät ohjaamaan työkonetta, löytyy ainakin Trimbleltä, Ag-Leaderiltä ja John Deereltä. Työkoneita, joista löytyy sähköinen syötönsäätö, on mahdollista ohjata karttojen mu-kaan, tällaisia koneita on ainakin kylvökone, lannoitteenlevitin, kasvinsuo-jeluruisku ja kalkinlevitin. Valmius ohjaukseen löytyy kuitenkin tois-taiseksi vain harvojen konevalmistajien koneista. Teemakarttoja tehdessä sovelletaan eri tietoja, maalaji, multavuus, lohkon pintamuodot, edellisen vuoden satotasot, havainnot ja ilmakuvat. (Grisso & Alley & Tohmason & Holshouser & Roberson, 2011.)

6.2 Hyödyntäminen lannoituksessa

Ilmakuvausta voidaan hyödyntää typen täydennyslannoituksessa viljoilla ja nurmella. Multispektri, hyperspektri ja NIR-kameralla pystytään kuvaamaan aallonpituusvälillä 750–900 nm kasvillisuuden heijastamaa säteilyä. NIR-alueen säteilyn pohjalta saadaan tehtyä NDVI-kasvillisuusindeksi, joka kuvaa kasvin lehden lehtivihreän kuntoa. Lehtivihreän ja kasvin typen välillä on korrelaatio, joten NDVI-indeksiä voidaan hyödyntää typen lisälannoituksessa, jos muut lehtivihreän kuntoon vaikuttavat tekijät, kuten kos-teus, maanrakenne ja muut lehtivihreään vaikuttavat ravinteet ovat kun-nossa. Jaetussa lannoituksessa käytettäessä useampaa levityskertaa, jaetaan ensimmäisessä levityksessä keväällä heikoimmille alueille runsaammin lannoitetta, tasoittaen näin lehtivihreän eroja. Ensimmäinen levitys tulisi suorittaa kasvuston pensomis-korrenkasvuvaiheessa. Toisella levitysker-ralla toimitaan päinvastoin eli parhaisiin kohtiin annetaan eniten typpeä val-kuaisen muodostusta varten. (Knaapi 2014, 30–31.)

Lidar-sensorilla voidaan korrenkasvuvaiheen jälkeen tehdä kasvustosta korkeusmalli, jota verrattaessa maastomalliin voidaan laskea biomassan määrää kuvaava malli. Mallin perusteella voidaan myös laatia lannoitus-kartta. Tämä ratkaisu toimii parhaiten korkeilla kasveilla, kuten maissilla. (Kasprick 2010, 5–9.)

6.3 Hyödyntäminen kasvinsuojelussa

Ilmakuvattaessa matalasta korkeudesta hyvällä lennokkijärjestelmällä voi-daan kasvuston seasta tunnistaa rikkakasveja. Parhaiten kuvista erottuu pää-kasviin verrattuna erisävyiset rikat ja parhaiten ne erottuvat suuren rivivälin kasveista. Rikkakasvien kuvauksessa käytetään hyperspektrikameraa, joka pystyy kuvaamaan 10 nm aallonpituusvälein kohdetta. Monet rikkakasvit näkyvät eri aallonpituusalueella pääkasviin verrattuna (Thenkabail, Lyon & Huete 2012, 593–599).

Ilmakuvauksen avulla voidaan tarkentaa glyfosaatin käyttöä. Syksyllä puintien jälkeen voidaan kuvata juolavehnan ja muiden monivuotisten rikkakasvien esiintymä pellolla. Ilmakuvien pohjalta voidaan etukäteen tehdä ajo-suunnitelma, jossa ruiskutetaan vain pahimmat alueet pellostä. Tämä vähentäisi kustannuksia pienempänä glyfosaatin menekkinä, ajan säästönä ja pienempinä konekustannuksina, sekä säästäisi luontoa.

Erilaisen kasvitautien tunnistaminen ilmasta käsin on myös mahdollista. Lehtilaikkutaudit näkyvät kasvin huomattavasti heikompana lehtivihreän määränä, joka nähdään NDVI-indeksissä. Sairaat kasvit säteilevät myös enemmän lämpöä, joten ne voidaan havaita myös lämpökameralla. Kasvin stressitekijät pystytään havaitsemaan lämpötilaerona lehdellä ennen näkyvää muutosta lehdissä. Kasvin lehtivihreään vaikuttavat muut stressitekijät, kuten vesitalous ja hivenpuutos voivat myös olla kyseessä, joten on erityisen tärkeää käydä tarkistamassa tilanne pellolla. (Ortiz, Shaw & Fulton 2011, 1–5.)

Kasvunsääteitä ruiskuttaessa voidaan hyödyntää samaa lehtivihreän mitaustekniikka kuin typen täydennyslannoituksessa, niin ettei huonommille alueille ruiskuteta kasvunsäädettä. Toistaiseksi tekniikasta ei ole vielä hyödytä, koska kasvunsääteet ruiskutetaan yhdistettynä muihin ruiskutuksiin.

6.4 Hyödyntäminen vesitaloudessa

Ilmakuvausta voidaan hyödyntää myös vesitalouden seurannassa kasveissa ja maaperässä. Muokatun maan maalajivaihteluita voidaan kartoittaa näkyvän valon aallonpituusalueilla (n. 400 - 780 nm) multi- ja hyperspektrikameralla ja maanpinnan kosteuseroja infrapuna-alueella lämpökameralla kerätyistä ilmakuvista. Kasvien kuivuusstressiä taas voidaan kartoittaa punaisella aallonpituusalueella (n. 690 - 740 nm) kerätyllä datalla. (Pesonen, Kaivosoja & Suomi 2010, 29.)

Pellon märkyysongelmat näkyvät usein seisovana vetenä ja märkinä paikoina pellonpinnalla. Ne on helppo havaita maanpinnalta, mutta ongelma-alueiden laajuus ja syyt selviävät useimmiten parhaiten ilmasta käsin. Kosteudesta kärsivät alueet erottuvat ilmasta tummempina raitoina ja alueina. Kuivaan aikaan kuvattaessa voidaan parhaiten havaita salaojien paikat pellossa ja mahdollisia tukkeumia ja vikapaikkoja siinä. Yhdistämällä eri aikaan otettujen ilmakuvien tarjoamia tietoja saadaan jo varsin hyvä pohja vesitaloutta parantavien toimenpiteiden, kuten täydennyssalaojituksen tai jankkuroinnin suunnitteluun. (Kleemola 2013, 2.) Kosteudesta kärsivä pelto tuottaa heikomman sadon. (kuva 5)

Ilmakuvatessa matalasta korkeudesta hyvällä lennokkijärjestelmällä voidaan saada aikaan erittäin tarkka 3d-pintamalli. Pintamallia voidaan hyödyntää peltoviljelyssä esimerkiksi salaojitusta ja pellon tasausta suunniteltaessa. Toimenpiteiden toteutusvaiheessa kannattaa kuitenkin hyödyntää laser-tekniikkaa, sen paremman tarkkuuden ansiosta.



Kuva 5. vaaleat alueet kertovat pellon vesitalousongelmista. (Oesch 2014)

6.5 Muita sovelluksia

Yksinkertainen tapa hyödyntää ilmakuvia on niiden käyttö maanäytteen ottopaikkojen määrittämisessä kasvuston vaihtelun mukaan. Jos kasvustosta otetussa kuvassa näkyy selvästi huonommin kasvaneita alueita, kannattaisi niistä ottaa oma maanäytteensä ja paremmasta osasta omansa. Näin saadaan hyvä kokonaiskuva lohkolta. Voisiko hyvien alueiden kasvukuntoa vielä parantaa tai onko huonommilla alueilla mahdollisesti jokin ravinnepuutos? Näin voidaan laatia toimenpidekartta kalkin levitysmäärästä tai hivenlannoituksesta eri kohdille lohkoa. (Kleemola 2013, 3.)

Erilaisia kasvuston kunnosta kertovia ilmakuvia voidaan hyödyntää sadonkorjuuvaiheessa. Puitaessa esimerkiksi mallasohraa voidaan sopivan valkuaispitoisuuden alueet puida mallasviljaksi ja muut alueet myöhemmin erikseen rehuviljaksi. Mallasteollisuudelle olisi hyötyä, jos valkuaispitoisuuden vaihtelu on mahdollisimman pientä. Vehnää tuotettaessa voidaan samalla tavalla erotella leipävehnä ja rehuvehnä valkuaispitoisuuden mukaan. Muilla viljoilla ei ole valkuaispitoisuuden vaihtelulla viljaa kaupatessa niin suurta merkitystä. (Mustonen 2000, 8–9.)

Keväällä ilmakestä voidaan hyödyntää syysviljapelloilla talvituhojen paikantamiseen. Ilmakuvista saadaan nopeasti tilannekuva kasvuston kunnosta talven jälkeen. Erityisesti isoilla tiloilla ja lohkoilla hyödyt korostuvat, Virossa Madis Ajaotsin 2250 hehtaarin tilalla syyskylvöisten kasvien talvituhot mitataan mittausautomaattilla varustetulla multikopterilla. Tilan 710 hehtaarin syysvehnäalan tarkkailussa laitteesta on oletettavasti iso apu, koska se säästää jalkatyötä ja nopeuttaa tilanteen arviointia. (Satafood 2013, 8–10.)

Maatalouden koetoiminnassa ilmakuvauksella voitaisiin saada koeruuduilta hyödyllisiä tietoja hyperspektrikuvauksella, mutta ruutujen tarkkailuja se ei voisi kuitenkaan kokonaan korvata. Parhaita vaihtoehtoja ilmakuvauksen hyödyntämiseen koelohkoilla voisi olla lämmön tai kosteuden seuranta lämpökameralla ennen kylvöjä, koeruutukerranteet on hyvä saada kylvettyä samoihin olosuhteisiin. Koalueiden ollessa pieniä sopii käytettäväksi hyvin myös leija- ja pallokuvaus.

Ilmakuvausta voidaan hyödyntää 2015 voimaan tulevassa kasvulohkojen pinta-alan mittaaminen ja piirtäminen karttaan -vaatimuksessa. Esimerkiksi perunan, sokerijuurikkaan ja muiden erikoiskasvien viljelyssä päistealueiden tarkka mittaaminen ilman apuvälineitä voi tuottaa ongelmia. Tarkoitukseen riittävän tarkat gps-laitteet maksavat useita tuhansia euroja. Ilmakuvauksen avulla suoritettuna pinta-alan mittaus voidaan yhdistää samaan lentoon, kun lohkolta mitataan muuta kasvuston kunnosta kertovaa dataa. (Maasetumedia 2014.)

6.6 Ilmakuvaus valvonnassa

Euroopan unioni maksaa vuosittain jäsenvaltioille maataloustukea noin 52 miljardia euroa. Summa on noin 39 % unionin budjetista. Jokaisen jäsenvaltion tulee tarkastaa vähintään 5 % tiloista. Valvonnoissa on alettu selvittää mahdollisuutta tehdä tarkastus etänä ilmakuvauksen avulla. Britanniassa maataloustukivalvonnoissa on hyödynnetty ilmakuvausta jo pitkään, vuonna 2010 70 % kaikista valvonnoista suoritettiin satelliittikuvauksella. Ranskassa ja Espanjassa on valvonnoissa alettu hyödyntää myös miehittämättömiä ilma-aluksia. (BBC News 2012.)

Ilmakuvaus luo valvontapuolellakin monia uusia mahdollisuuksia. Ilmakuvausta voitaisiin käyttää hyödyksi esimerkiksi maatalouden suojakaistojen tai kasvustojen pinta-alan valvonnassa. Maaseutuvirasto on käyttänyt ilmakuvia apuna pinta-alaristiintarkastuksissa. Ristiintarkastuksessa verrataan eri vuosien ilmakuva-aineistoja keskenään ja tutkitaan mahdollisia pintaalamuutoksia ja pusikoitumisia. Kaukokartoituksen hyödyntämistä selvitettiin laajemmin vuonna 2010, silloin päädyttiin ratkaisuun ettei menetelmää oteta vielä käyttöön. Ilmakuvauksen rajoittavia tekijöitä valvonnassa on kuvausten hinta ja onnistuminen ajallaan, pilvisyydestä ja satelliittien kierradoista johtuen optimaalinen kuvausaika on lyhyt. Kaukokartoitusmenetelmää on sovellettu pinta-ala- ja kasvilajivalvonnoissa viime vuosina kaikissa muissa jäsenmaissa paitsi Suomessa, Luxemburgissa ja Itävallassa (MMM 2011).

6.7 Ympäristönäkökulmat

Hyödynnettäessä ilmakuvauksella saatavaa dataa täsmälannoituksessa tai täsmäkasvinsuojelussa voidaan vähentää ympäristöön kohdistuvia riskejä. Ravinteiden kohdennetumman käytön pitäisi vähentää ravinteiden huuhtoumaa pelloilta vesistöihin. Ilmakuvien pohjalta saadaan piirrettyä myös

ravinnetasekartta. Tasekarttojen tarkastelu vie ympäristöajattelua yhden askeleen eteenpäin, koska positiivisten ja negatiivisten taseen tuottavien paikkojen tunnistaminen lohkon sisältä mahdollistaa toimet ongelmien ratkaisemiseksi. Ympäristölle ongelmallisissa paikoissa viljelijänkin tulos on yleensä huono, joten samalla kertaa voidaan ajaa molempien etua (Kleemola 2013, 3).

Rikkakasvien tunnistukseen perustuva täsmäkasvinsuojelu tukee integroidun torjunnan eli IPM (Integrated Pest Management) oppeja. Integroidussa torjunnassa asetetaan kynnyksarvoja, joiden täytyessä vasta aloitetaan torjunta. Kokonaisuutena ilmakuvausta hyödynnettäessä pitkällä aikavälillä saadaan optimoitua sadon laatu ja määrä, sekä minimoitua ympäristöpäästöjä.

7 YHTEENVETO

Ilmakuvauksen avulla voidaan jo saada monenlaisia tietoja pellon ja kasvuston kunnosta ja koko ajan kehitetään lisää sovelluksia. Tietojen hyödyntämisessä on sen sijaan vielä paljon tehtävää. Järjestelmiä, jotka pystyvät hyödyntämään paikkatiedon avulla erilaisia toimenpidekarttoja, ei ole vielä paljoa käytössä.

Maatalouteen sopivia ilmakuvajärjestelmiä on useita, parhaiten käyttöön soveltuva järjestelmä riippuu kartoitettavan alueen koosta, sääolosuhteista ja tarvittavasta tarkkuudesta. Ilmakuvauksissa odotuksia on luotu miehittämättömille ilma-aluksille, niitä pidetään vahvasti tulevaisuuden läpimurtaavana tekniikkana ilmakuvauksipuolella. Miehittämättömiä ilma-aluksia koskevat uudet määräykset kuitenkin vaikeuttavat ja hidastavat järjestelmien yleistymistä.

Yksittäisen viljelijän käyttöön ilmakuvajärjestelmä on vielä turhan kallis, ainakin valmiit järjestelmät. Sen sijaan urakointikäytössä järjestelmä pystyttäisiin kuolettamaan kohtuullisessa ajassa. Urakoinnissa järkevä hinnoittelu voisi olla perusmaksu tilaa kohden plus hehtaarihinta. Järjestelmää hankittaessa kannatta muistaa, että ilmakuvajärjestelmille löytyy käyttöä muiltakin toimialoilta, kuten metsätaloudesta, kaivosteollisuudessa tai maankäytön suunnittelussa. Urakoitsijalla kuvauskausi voi käytännössä kattaa koko lumettoman ajan.

Tulevaisuudessa erilaiset peltorobotit tulevat todennäköisesti markkinoille. Ne tulevat käyttämään kasvien tunnistamisessa samaa sensoritekniikkaa kuin ilmakuvauksessa käytetään. Peltoroboteille tullaan myös todennäköisesti antamaan ilmakuviin perustuvaa ennakkotietoa mihin päin peltoa tulisi keskittyä, esimerkiksi rikkaruohojen torjunnassa. Itse uskon, että ilmakuvauksen maataloudessa tulee lisääntymään voimakkaasti seuraavan 20 vuoden sisällä.

Työ oli kokonaisuutena erittäin mieluisa ja mielenkiintoinen. Ilmakuvauksen hyödyntämisestä maataloudessa ei löytynyt vielä muita opinnäytetöitä ja tutkimuksiakin vain muutamia. Uskon opinnäytetyöstäni olevan hyötyä

ilmakuvauksesta ja sen hyödyntämisestä kiinnostuneille viljelijöille sekä sidosryhmille. Omaa ilmakuvaustoimintaani aion tulevaisuudessa jatkaa kotitalallani, vuodeksi 2015 olen jo hankkinut uutta ilmakuvauskalustoa peltojen kuvaukseen.

LÄHTEET

- Agisoft. 2014a. Photoscan Professional. Viitattu 3.11.2014
<http://www.agisoft.com/features/professional-edition/>
- Agisoft. 2014b. PhotoScan User Manual. Viitattu 4.11.2014.
www.agisoft.ru/pdf/photoscan_pro_1_0_en.pdf.
- BBC. 2012. Spying on Europe's farms with satellites and drones. Viitattu 05.02.2015 <http://www.bbc.com/news/world-europe-16545333>
- Flir. n.d. FLIR Tau core in Unmanned Aerial Vehicles: the thermal eye in the sky. Viitattu 14.01.2015 http://www.flir.com/uploaded-files/CS_EMEA/Application_Stories/Media/Downloads/Coptersale_EN.pdf
- Fuegro earthdata. 2011. Lidar mapping fact sheet. Viitattu 07.10.2014
http://www.fugroearthdata.com/pdfs/FCT_Lidar-Educational.pdf
- Grisso, R., Alley, M., Tohmason, W., Holshouser, D. & Roberson, G. 2011. Precision Farming Tools: Variable - Rate Application. Virginia Cooperative Extension 442 – 505
- Haggrén, H. 2011. 200 Vuotta fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historiaa. Julkaisu 3/2001. Viitattu 07.10.2014
http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/P_JF2011_3_Haggren.pdf
- Haggrén, H. 2003a. Luento 8/2003: Ilmakuvaus. Viitattu 24.09.2014
http://foto.hut.fi/opetus/300/luennot/8/L8_print2004.pdf
- Haggrén, H. 2003b. Ilmakuvausten suunnitteluharjoitus. Viitattu 13.10.2014 http://foto.hut.fi/opetus/300/harjoitukset/ilmakuvausten_suunnittelu/ilmakuvausten_suunnittelu.html
- Helsingin Sanomat. 2014. Hyperspektrikamera paljastaa pahanlaatuiset ihomuutokset. Viitattu 12.1.2015 <http://www.hs.fi/tiede/a1413170759994>
- Ilmailulaki 7.11.2014/864. Viitattu 4.1.2015 <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>
- Ilves, R. 2009. Digitaalinen ilmakuvaus lunasti lupauksensa. Positio 4, 20–22.
- Kleemola, J. 2013. Ilmakuvioiden käyttö viljelysuunnittelussa. RAHA-hanke
- Knaapi, J. 2014. Kasvin kunto paljastuu kuvaamalla. Koneviesti. 62. (5), 29–31
- Knaapi, J. 2010. Täsmäviljelyn toinen aalto alkamassa. Koneviesti. 58. (3), 105–107

- Lehtonen, P. 2013. Suomalainen laserkeilaus on maailman huippua. Maan-
käyttö. 17. (2), 6–9
- Matikainen, L. Hyypä, J. Karila, K. Vaaja, M. & Kukko, A. 2011. Laser-
keilaus- ja kuva-aineistojen automaattinen tulkinta karttojen ajanmukais-
tuksessa. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 22, No. 3, 104–114
- Maaseutumedia. 2014. Lohkon pinta-alan mittaus, osa 1. Viitattu
05.02.2015 <http://www.maaseutumedia.fi/lohkon-pinta-alan-mittaus-osa-1/>
- MMM. 2011. Viljelijätukien valvonnan rationalisointivaihtoehtoja selvittä-
vän työryhmän loppuraportti. Viitattu 05.02.2015
[http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljeliija/Documents/Peltoval-
vontaohje-2014.pdf](http://www.mavi.fi/fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljeliija/Documents/Peltoval-
vontaohje-2014.pdf)
- Mustonen, E. 2003. Täsmäviljely kehittyy hitaasti, mutta varmasti. Käytän-
nön maamies: maatalousväen ammatti- ja kuvalehti; 52, (10), 42–45
- Mustonen, E. 2000. Ilmakuviin perustuva lannoitus on edullinen oikotie täs-
mäviljelyyn. Käytännön maamies: maatalousväen ammatti- ja kuvalehti;
49, (6), 8–9
- Nasa. n.d. Two-dimensional projection of a hyperspectral cube. Viitattu
20.11.2014 [http://white.stanford.edu/teach/images/5/5e/Hyperspect-
ral_sensor_data.png](http://white.stanford.edu/teach/images/5/5e/Hyperspect-
ral_sensor_data.png)
- Oesch, J. 2014. Omat ilmakuvat pelloilta 2014
- Ortiz, B. Shaw, J. & Fulton, J. 2011. Basics of crop sensing. Alabama Co-
operative extension system. Viitattu 25.11.2014
[https://sites.aces.edu/group/crops/precisionag/Publications/Ba-
sics%20of%20Crops%20Sensing%20-%20Ext%20Pub%20ANR-
1398.pdf](https://sites.aces.edu/group/crops/precisionag/Publications/Ba-
sics%20of%20Crops%20Sensing%20-%20Ext%20Pub%20ANR-
1398.pdf)
- Pesonen, L. Kaivosoja, J. & Suomi, P. 2010. Täsmäviljely ja ravinteiden
käytön tarkentaminen. TEHO-hankkeen julkaisuja 5/2010.
- Poutanen, M. 2014. Kauko-ohjattava ilmakuvausjärjestelmä. Lahden am-
mattikorkeakoulu. Mediatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö
- Price, R. & Price, K. 2009, Remote Sensing Imagery in Agriculture: Image
Conversion to NDVI. Viitattu 27.10.2014.
<http://www.ksre.ksu.edu/bookstore/pubs/MF2857.pdf>
- Publiclab. n.d. Near-Infrared Camera. Viitattu 13.13.2014 [http://pub-
liclab.org/wiki/near-infrared-camera](http://pub-
liclab.org/wiki/near-infrared-camera)
- Rundquist, D. & Nellis, D. 2009. Remote Sensing of Cropland Agriculture

Saari, H. 2013. Maailman pienin hyperspektrikamera Suomesta. positio 1, 10–13

Satafood. 2013. Nurmisiementuotanto-matka Viroon 6.-8.7.2014 Viitattu 14.2.2015 <http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/827%20nurmisiemen/Matkakertomus%20nurmisiemenmatka%206.-8.7.2014%20Viro.pdf>

Sippo, M. 2013. Pistepilvi ja ortokuva lennokilla. Tierakennusmestari 1, 16–18

Teli, S. Jagtap, M. Nadekar, R. Gudade, P. More, R & Bhagat, P. 2014. Unmanned aerial vehicle for surveillance. Viitattu <http://www.ijstr.org/final-print/may2014/Unmanned-Aerial-Vehicle-For-Surveillance.pdf>

Tetracam. n.d. Database. Viitattu 11.10.2014 http://www.tetracam.com/MS_Database.htm

Thenkabail, P. Lyon, J & Huete, A. Hyperspectral remote sensing of vegetation. CRC Press, Boca Raton. 2012

The UAV Guide. 2014. Multicopter. Viitattu 16.11.2014 <http://www.theuavguide.com/wiki/Multicopter>

Tiusanen, J. 2012. Leija täydentää ilmakuvauksen vaihtoehtoja. Käytännön maamies: maatalousväen ammatti- ja kuvalehti; 61 (2012) : 1, s. 26–27

Trafi. 2014. Määräyslunnos OPS M1-23. Viitattu 4.1.2015. www.trafi.fi/file-bank/a/1392702644/e5549ad9830e2308687346c9c7ee20c7/14236-2014_02_17_Luonnos_ilmailumaarayksen OPS_M1-23_muutokseksi.doc

Turkley, A. 2012. Suitability of low cost commercial off-the-shelf aerial platforms and consumer grade digital cameras for small format aerial photography. Marshall university. Dissertations and capstone. Thesis

Vanhala, P. 2012. Ilmakuvauksen kevyt versio. Lehtiartikkeli. Tekniikan Maailma 08/2012, 64-69

Wolf, E. 2006. Low-Cost Large-Scale Aerial Photography and the Upland South Folk Cemetery. Viitattu 09.11.2014 <http://www.nwmissouri.edu/library/theses/WolfEricB/WolfThesis.pdf>

Miehittämättömien ilma-alusten käyttöä koskeva määräysluonnos



Trafi

Liikenteen turvallisuusvirasto

Määräysluonnos

3 (13)

TRAFI/2164/03.04.00.00/2014

OPS M1-23

3.3 Ilma-aluksen ohjaajan on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- a) Ohjaajalla on oltava voimassa ilma-alusluokan mukaisesti ansiolentäjän tai helikopteriansiolentäjän lupakirja tai näitä korkeammanasteinen ilmailulupakirja ja luokan I lääketieteellinen kelpoisuustodistus, vaikka toimintaa ei harjoitettaisi maksua tai muuta korvausta vastaan, ellei alla olevasta b) kohdasta muuta johdu.
- b) Edellä a) kohdassa tarkoitettua vaatimusta ei kuitenkaan sovelleta,
 - 1) kun toiminnan harjoittaja tekee lentotyötä omalla kustannuksellaan omiin tarkoituksiinsa, ilman toisen toimeksiantoa tai pyyntöä,
 - 2) kun kyseessä on yhdistyksen jäsenen suorittama toisen jäsenen ohjaaman purjelentokoneen hinauslento, josta purjelentokoneen ohjaaja maksaa yhdistykselleen omakustannusperusteisen korvauksen eikä tarkoituksena ole liikevoiton saavuttaminen,
 - 3) kun kyseessä on yhdistyksen jäsenen suorittama toisen jäsenen lennättäminen laskuvarjohyppyä varten, mistä laskuvarjohyppääjä maksaa yhdistykselleen omakustannusperusteisen korvauksen eikä tarkoituksena ole liikevoiton saavuttaminen tai
 - 4) toimeksiantosopimuksen nojalla harjoitettavassa metsäpalovalvontalentotoiminnassa, kun seuraavat ehdot täyttyvät:
 - i) Toimintaa harjoittaa harrasteilmailukerho eikä jäljempänä kohdissa ii) ja iii) tarkoitetuille henkilöille suoriteta maksua tai muuta korvausta.
 - ii) Ilma-aluksen päälliköllä on oltava yksityislentäjän lupakirja, vähintään 100 tunnin lentokokemus ja tämän määräyksen liitteen 1 vaatimukset täyttävä tai ennen tämän määräyksen voimaantuloa suoritettu ilmailutiedotuksissa OPS T2-100 ja TRG T2-100 tarkoitettu koulutus metsäpalovalvontalentotoimintaa varten.
 - iii) Ilma-aluksen miehistöön kuuluu ilma-aluksen päällikön lisäksi yksi tähystäjä, joka täyttää ilma-aluksen päällikölle edellä ii) kohdassa asetetut vaatimukset.
 - iv) Lennolla ei ole mukana edellä ii) ja iii) kohdassa tarkoitettujen kahden henkilön lisäksi muita henkilöitä. Tämä rajoitus ei kuitenkaan koske toimeksiannon saaneen harrasteilmailukerhon henkilöä, jonka tehtävänä on kyseisen ilmailukerhon metsäpalovalvontalentotoiminnan johtaminen tai tarkastaminen. Tämä rajoitus ei myöskään koske toimeksiantajan edustajaa, jonka tehtävänä on toiminnan tarkkailu.
 - 5) satunnaisilla viranomaisen pyynnöstä tapahtuvilla etsintä- tai pelastuslennoilla ihmishengen pelastamiseksi tai
 - 6) käytetään miehittämätöntä ilma-alusta 3.4 kohdan vaatimusten mukaisesti.

3.4 Miehittämättömän ilma-aluksen käyttö

3.4.1 Määritelmät

Kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä, RPAS: Kauko-ohjattu ilma-alus, sen kauko-ohjauspaikat, tarvittavat ohjaus- ja seurantayhteydet ja muut erikseen määrätyt kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön edellyttämän järjestelmän osat

Kauko-ohjattu ilma-alus, RPA: Miehittämätön ilma-alus, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta.

Kauko-ohjauspaikka: Kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmän osa, johon kuuluu kauko-ohjatun ilma-aluksen ohjaamiseen käytettävä varustus.

Kauko-ohjaaja: Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttöön perehtynyt henkilö, joka hoitaa lennon edellyttämiä olennaisia tehtäviä ja käyttää ohjauslaitteita asiaankuuluvalla tavalla lentoajan kuluessa.

Kauko-ohjaustähystäjä: Kauko-ohjaajan hyväksymä henkilö, joka pitää näköyhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen ja avustaa kauko-ohjaajaa varmistamaan lennon turvallisuuden.

Lennot: Lentämään tarkoitettu laite, jonka mukana ei ole ohjaajaa ja jota käytetään harraste- tai urheilutarkoitukseen.

Lentoonlähtömassa: Miehittämättömän ilma-aluksen kokonaisuudessa lentoonlähdön alkaessa, mukaan luettuna kaikki mukana olevat tavarat.

Miehittämätön ilma-alus, UA: Ilma-alus, joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa. Lennot ei katsota miehittämättömäksi ilma-alukseksi.

Miehittämättömän ilma-aluksen päällikkö: Lentotoiminnan harjoittajan tai miehittämättömän ilma-aluksen omistajan nimittämä kauko-ohjaaja, jolla on lennon aikana käskyvalta ja vastuu turvallisuudesta.

Näköyhteyden perustuva toiminta, VLOS-toiminta: Toiminta, jossa kauko-ohjaaja tai kauko-ohjaustähystäjä pitää ilman apuvälineitä yllä suoraa näköyhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen.

3.4.2 Käytettäessä miehittämättömää ilma-alusta ilmatilassa, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta tai tarkoitusta varten erotettu, on noudatettava seuraavia ehtoja, ellei Liikenteen turvallisuusvirasto ole myöntänyt poikkeusta 3.4.3 kohdan mukaisesti:

- 3.4.2.1 Miehittämättömän ilma-aluksen lentoonlähtömassa saa olla enintään 20 kg.
- 3.4.2.2 Käytön on oltava näköyhteyden perustuvaa toimintaa, miehittämättömän ilma-aluksen on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennätettävä vallitsevan sään ja valoisuuden huomioonottaen riittävän lähellä kauko-ohjaajaa tai kauko-ohjaustähystäjää niin, että vaikuttava ilmaliikenne voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti suoran näköyhteyden perusteella ilman apuvälineitä.
- 3.4.2.3 Kauko-ohjaajan tai kauko-ohjaustähystäjän etäisyys miehittämättömästä ilma-aluksesta saa olla enintään 500 metriä.
- 3.4.2.4 Lennätyskorkeuden on oltava alle 120 metriä alla olevan maan tai veden pinnasta. Lennättäminen alempana kuin tehtävän edellyttämällä korkeudella ei ole sallittu. Lennot on suoritettava siten, että niistä ei aiheudu vaaraa ulkopuolisille tai heidän omaisuudelleen eikä tarpeetonta meluhaittaa.
- 3.4.2.5 Kauko-ohjaajan on oltava pätevä ohjaamaan kyseistä miehittämättömää ilma-alusta. Kauko-ohjaajan ja kauko-ohjaustähystäjän on oltava vähintään 18-vuotias.



- 3.4.2.6 Miehitettävien ilma-aluksen on väistettävä kaikkia muita ilma-aluksia.
- 3.4.2.7 Ohjaukseen tarvittavan yhteyden menettämisen tai miehitettävien ilma-aluksen oman toimintahäiriön varalta on seuraavien vaatimusten täyttyttävä:
- a) Kauko-ohjaajalla on oltava käytössään jatkuva näyttö, joka ilmaisee ohjaus- ja valvontayhteyden signaaliavoimakkuuden ja sen riittävyyden. Lento on keskeytettävä, jos sen jatkaminen johtaisi edellä tarkoitettua näytön tai riittävän signaaliavoimakkuuden menettämiseen.
- b) Käytettäessä kauko-ohjaustähtäystä 3.4.2.2 kohdan vaatimusten täyttämiseksi on kauko-ohjaajan ja kauko-ohjaustähtäyksen yhteydenpitoa varten oltava vähintään kaksi toisistaan riippumatonta puheviestintään tarvittavaa välinettä samanaikaisesti käytettävissä.
- c) Mikään yksittäinen ohjaus- ja valvontayhteydenjärjestelmän vika ei saa estää miehitettävien ilma-aluksen ohjaamista.
- d) Ohjaus- ja valvontayhteys on suojattava sähkömagneettisten häiriöiden varalta.
- e) Miehitettävissä ilma-aluksessa on oltava järjestelmä tai lentotoiminnan harjoittajalla käytössään menettely, joka keskeyttää lennon, kun ohjaukseen ja valvontaan tarvittavat yhteydet katkeavat tai miehitettävien ilma-alus vikaantuu niin, että sen ohjaaminen estyy.
- f) Kun lentoalustassa on 5 kg tai enemmän, miehitettävissä ilma-aluksessa on oltava automaattisesti toimiva varustus, joka vähentää edellä e) kohdassa tarkoitettua häiriötilanteessa liike-energiaa ja antaa varoitusääntä häiriötilanteen ajan.
- 3.4.2.8 Miehitettävien ilma-aluksen lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asuttujen osien tai ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella tai niin, että lentorata on lähempänä kuin 150 metrin etäisyydellä näistä, ei ole sallittu. 3.4.2.8 kohdan rajoitukset eivät kuitenkaan koske miehitettävien ilma-aluksen käyttämistä poliisin, tullin, pelastuslaitoksen tai rajavartiolaitoksen tehtäviin.
- 3.4.2.9 Miehitettävien ilma-aluksen lennättäminen yöllä ei ole sallittu, paitsi poliisin, tullin, pelastuslaitoksen tai rajavartiolaitoksen tehtävissä.
- 3.4.2.10 Miehitettävien ilma-aluksen lennättämiseen valvotussa ilmatilassa on saatava asianomaisen lennonjohtajien lupa ja lennättämisestä lentotiedotusvyöhykkeellä on ilmoitettava lentopaikan lentotiedotuskeskukselle. Kauko-ohjaajan on ylläpidettävä jatkuvaa kaksipuolista radioyhteyttä lennonjohtajien tai lentopaikan lentotiedotuskeskukselle.
- 3.4.3 Liikenteen turvallisuusvirasto voi myöntää luvan miehitettävien ilma-aluksen käyttämiseen 3.4.2.1 – 3.4.2.3 kohtien vaatimuksista tai 3.4.2.4 kohdassa esitetystä suurimman lennätyskorkeuden rajoituksesta poiketen ilmatilassa, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta tai tarkoitusta varten erotettu.
- 3.4.4 Miehitettävien ilma-aluksen käyttämisestä ilmatilassa, joka on muulta ilmailulta kielletty tai erotettu, on säädetty ilmailulaissa.



3.4.5 Jäljempänä olevan 5 kohdan määräykset eivät koske miehittämättömien ilma-alusten käyttämistä.

4 LENTOTYÖLUPA

4.1 Lentotyöluvun saamisen ja voimassaolon edellytykset

4.1.1 Lentotyöluvun hakijan ja haltijan organisaation ja henkilöstön mitoitus ja ammattitaito

Lentotoiminnan harjoittajan on nimettävä toiminnasta kokonaisuudessaan vastaava vastuullinen johtaja ja lentotoiminnasta vastaava lentotoiminnan johtaja. Nimettävien henkilöiden on oltava tiedoiltaan, taidoiltaan ja kokemukseltaan Liikenteen turvallisuusvirastoa tyydyttäviä, ottaen huomioon toiminnan laadun ja laajuuden.

Kun kyseessä on laaja tai vaativa lentotoiminta, Liikenteen turvallisuusvirasto voi edellyttää edellä tarkoitetuiksi vastuuhenkilöiksi nimettävien suorittavan kokeita todetakseen heidän pätevyytensä kyseisen organisaation tehtäviin.

Liikenteen turvallisuusvirasto voi hyväksyä saman henkilön useaan vastuuhenkilön tehtävään, mikäli tämä on toiminnan laatuun ja laajuuteen nähden tarkoituksenmukaista.

Lentotyöhön käytettävän ilma-aluksen ohjaajalla on oltava voimassa ansiolentäjän tai helikopteriansiolentäjän lupakirja tai näitä korkeammanasteinen ilmailulupakirja ja luokan I lääketieteellinen kelpoisuustodistus, vaikka toimintaa ei harjoitettaisi maksua tai muuta korvausta vastaan. Lisäksi ohjaajalla on oltava lentotoiminnanharjoittajan järjestämä tehtävän edellyttämä koulutus. Liikenteen turvallisuusvirasto voi perustellusta hakemuksesta myöntää poikkeuksen ansiolentäjän lupakirjavaatimuksesta hakijan omaan lukuun tapahtuvassa lentotyössä ohjaajan tehtävään soveltuvan koulutuksen tai kokemuksen perusteella.

Edellä tarkoitettu lentotoiminnanharjoittajan järjestämästä koulutuksesta on pidettävä kirjaa ja tämä kirjanpito on säilytettävä vähintään kolme vuotta.

4.1.2 Lentotyöluvassa tarkoitettuun toimintaan käytettävät ilma-alukset

Ilma-aluksella on oltava lentokelpoisuustodistus, ellei Liikenteen turvallisuusvirasto muuta hyväksy.

4.1.3 Lentotyöohjeet

Lentotoiminnanharjoittajan on laadittava kyseessä olevia tehtäviä varten lentotyöohjeet. Ohjeissa on otettava huomioon toiminnan laatu ja laajuus, mahdollinen erityisvaarallisuus ja käytettävä kalusto.

Liikenteen turvallisuusvirasto voi vaatia muutoksia lentotyöohjeisiin, jos niissä on esitetty määräysten vastaisia tai todellista toimintaa vastaamattomia vaatimuksia, ohjeita tai tietoja tai Liikenteen turvallisuusvirasto katsoo lentotyöohjeiden sisällön riittämättömäksi tai epätarkoituksenmukaiseksi eikä tämän vuoksi ole vakuuttunut hakijan kyvystä harjoittaa aiottua toimintaa.

Lentotyöohjeen sisältövaatimukset on esitetty tämän ilmailumääräyksen liitteessä 2.