

**UAS-JÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN
TAIMIKONTARKASTUKSESSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, metsätalous

Syksy, 2019

Jukka Laamanen

Metsätalous
Evo

Tekijä	Jukka Laamanen	Vuosi 2019
Työn nimi	UAS-järjestelmän hyödyntäminen taimikontarkastuksessa	
Työn ohjaaja	Esa Lientola	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tavoitteena on tutkia UAS-järjestelmän (*Unmanned Aircraft System*) käyttökelpoisuutta ja tehokkuutta taimikontarkastuksessa sekä lainsäädännön vaikutusta lentotyöhön. Tutkimuksen tilaajana on Metsänhoitoyhdistys Etelä-Savo. Tutkimus perustuu teoretiseen ja käytännön maastotesteihin. Maastotestien tutkimusaineisto sisältää kolme pientä taimikkoa ja neljä varttunutta taimikkoa sekä kartoituslentoja 13 ja vertailuaineistoksi maastotarkastuksia 14 kappaletta.

Teoriaosuudessa miehittämättömän ilmailun lainsäädäntöä on esitetty perusteellisesti, jotta lentotyö on mahdollista tehdä turvallisesti ja laillisesti. Maastotestit antavat tietoa UAS-järjestelmän mahdollisuuksista pienten ja varttuneiden taimikoiden tarkastuksien tekemisessä. Myös ortomosaikkien soveltuvuutta visuaaliseen työnjäljen tarkastukseen ja runkoluvun laskentaan tutkitaan.

Keskeisimmät tutkimustulokset osoittavat, että UAS-järjestelmää on mahdollista käyttää varttuneiden taimikoiden tarkastukseen, sekä ortomosaikkien laatu on riittävä runkoluvun laskentaan. Sen sijaan UAS-järjestelmän käyttö pienten taimikoiden tarkastukseen ei toimi ja ortomosaikkien laatu ei ole riittävä runkoluvun laskentaan. UAS-tarkastus on ajallisesti mitattuna hitaampaa verrattuna maastotarkastukseen. Valmis-televat toimenpiteet ja kuvamateriaalin analysointi tekevät UAS-tarkastuksesta hitaamman.

Avainsanat UAS-järjestelmä, UA-laite, taimikontarkastus, ortomosaikki

Sivut 44 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Forestry
Evo

Author	Jukka Laamanen	Year 2019
Subject	Utilization of UAS in Control Check of Seeding Stand	
Supervisor	Esa Lientola	

ABSTRACT

The aim of the thesis was to study the usefulness and efficiency of UAS (Unmanned Aircraft System) in the control check of seeding stands and having information of legislation effects in the flight operations. The commissioner of the thesis is The Forest Management Association Etelä-Savo. The research is based on theory and practical field tests. The field tests are including three young and four mature seeding stands and 13 mapping flights and 14 field inspections for in comparison material.

In the theory part the legislation of unmanned aviation is presented thoroughly in order to give knowledge of how the flight operations are safely and legally done. Practical field tests are giving information of using UAS in control checks of young and mature seeding stands. The suitability of the orthomosaic in the visual control check and calculating the number of stems is also being surveyed.

The main point of research is proving that it is possible to use UAS in the control check for thinning mature seeding stands and the quality of orthomosaic is suitable for calculating the number of stems. Instead of that usage of UAS in young seeding stands control check is not working and the quality of orthomosaic is not usable in calculating the number of stems. When comparing the efficiency in the control check between the UAS check and the field check, the UAS check proves to taking more time. The preparing operations and photo analysis are making the UAS check slower.

Keywords UAS, UA, control check of seeding stand, orthomosaic

Pages 44 pages including appendices 2 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	EDELLYTYKSET UAS-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖN	3
2.1	Dronen monta nimeä	3
2.2	UA-laitteiden jaottelu.....	4
2.3	Euroopan unionin säädökset.....	5
2.4	EASA:n säädösten mukaiset toimintakategoriat.....	7
2.4.1	Toimintakategoria avoin.....	7
2.4.2	Toimintakategoria erityinen	7
2.4.3	Toimintakategoria sertifioitu.....	8
2.5	Suomen kansalliset säädökset	9
2.5.1	Minimivaatimukset lentotyölle	9
2.5.2	Erikoistapaukset lentotyössä.....	10
2.6	Lentotyö Suomen ilmatilassa	11
2.6.1	Lentotyön kieltö-, rajoitus- ja vaara-alueet.....	11
2.6.2	Lentotyö lentokenttien läheisyydessä.....	11
2.6.3	ASM-toimintakäsikirja ja Aviamaps-palvelu.....	12
3	UAS-JÄRJESTELMÄ TAIMIKON TARKASTUKSESSA	13
3.1	Fotogrammetria ja ortomosaiikki.....	13
3.2	T1-luokan taimikon uudistustarkastus.....	14
3.3	T2-luokan taimikon taimikontarkastus	15
3.4	Aiemmat tutkimukset aiheesta	15
3.4.1	Maaseutu 2.0 -hanke.....	15
3.4.2	Laatukuva-hanke	16
3.4.3	Muita tutkimuksia	16
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	18
4.1	Tutkimuksen menetelmät ja vaiheet	18
4.2	Tutkimuksen aineisto	19
4.3	Maastotestien valmistelu.....	20
4.4	Maastotestien toteutus.....	22
4.5	Ortomosaiikkien tuottaminen ja runkoluvun laskenta	24
5	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	29
5.1	Käyttökelpoisuus T2-luokan taimikoiden tarkastuksessa	29
5.2	Runkoluvun laskenta ja tarkkuus	30
5.3	Käyttökelpoisuus T1-luokan taimikoiden uudistustarkastuksessa	32
5.4	Tehokkuus taimikontarkastuksessa	33
6	POHDINTA.....	35
6.1	Lainsäädännön vaikutus	35
6.2	Käyttökelpoisuus	36
6.3	Tehokkuus	37

Liitteet

Liite 1 Tuloslomake

Liite 2 Avoimen toimintakategorian alakategoriat

1 JOHDANTO

Dronealan kasvu on suurta ja nopeaa. Maailmanlaajuisten dronealan markkinoiden on arvioitu kasvavan vuoden 2018 noin 13 miljardista eurosta 39 miljardiin euroon vuoteen 2024 mennessä. Euroopan tasolla tämä tarkoittaa sitä, että markkinat kasvavat 2018 vuoden 3,6 miljardista 8,1 miljardiin vuoteen 2024 mennessä. Suuren kasvun taustalla on usko dronejen tuomasta potentiaalisesta hyödystä monille eri toimialoille. (Droneii, 2019)

Metsätaloudessa droonien hyötykäyttöä tutkitaan paljon. Muun muassa kirjanpainajatuhojen ennakkohavaitsemista ja metsäsuunnitelman päivittämistä on tutkittu. Näissä tutkimusaiheissa dronen hyötykuormana on käytetty erikoisvalmistettuja hyperspektrikameroita ja laserkeilaimia, joiden avulla saadaan kerättyä hyvin tarkkaa – jopa ihmissilmälle näkymätöntä – tietoa metsästä ja sen puustosta. (Jyväskylän yliopisto, 2019; Metsä Forest, 2019)

Tässä opinnäytetyön tutkimuksessa ei kuitenkaan käytetä erikoisvalmistettuja kameroita tai laserkeilaimia, vaan tutkimuskalustona on harrastekäytön luokkaan kuuluva UAS-järjestelmä varustettuna RGB-kameralla. UAS-järjestelmällä tarkoitetaan miehittämättömän ilma-aluksen kokonaisjärjestelmää, eli dronea ja järjestelmää, jotka yhdessä mahdollistavat hallitun ja turvallisen lentämisen.

Mielenkiinto aiheeseen on syntynyt Hämeen ammattikorkeakoulun aiheetta käsittelevällä opintokokonaisuudella keväällä 2019. Oli aiheellista tutkia lisää harrastekäytön UAS-järjestelmän hyödyntämistä metsäammatilaisen työtehtävissä. Monet aikaisemmat tutkimukset käsittelevät vain ammattikäytön järjestelmien ja niiden kalliiden hyötykuormien tuomia hyötyjä. Nykyään kehittyneen tekniikan myötä myös harrastekäytön järjestelmällä pystytään tekemään kohtuullisen laadukkaasti samoja asioita kuin ammattikäytön järjestelmillä, kuten kartoitusta ja 3d-mallintamista. Harrastekäytön järjestelmät ovat myös hinnaltaan huomattavan edullisia, mikä varmasti madaltaa organisaation kynnystä hankkia sellainen edes koikelumielessä.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Metsänhoitoyhdistys Etelä-Savo. Yhdessä tilaajan kanssa on mietitty tutkimukseen otettavat sovelluskohteet. Tiivistämisen jälkeen tutkittavaksi aiheeksi muodostui UAS-järjestelmien hyödyntäminen taimikontarkastuksessa. Taimikontarkastus on perinteinen metsäammatilaisen työtehtävä, joka on hyvin pitkälti tehty maastotarkastuksena ihmisvoimin. Hyödyntämällä UAS-järjestelmää taimikontarkastuksessa saatetaan löytää lisäarvoa tarkastustoimintaan, kuten laajempi yleiskuva tehdystä taimikonhoidosta. Näiden potentiaalisten hyötyjen pohjalta

tilaaja voi käyttää UAS-järjestelmää toiminnassaan, jos näkevät käytön kannattavana. Aihetta tutkitaan tapaustutkimuksen menetelmillä, koska aiheessa on paljon tutkittavaa eikä selkeätä toimintamallia taimikontarkastukseen UAS-järjestelmällä ole vielä luotu.

Tapaustutkimuksen menetelmillä tutkimusaihetta pystytään lähestymään monesta eri näkökulmasta ja johtopäätöksiä tueksi voi toiminnasta tehdä mittauksia, havaintoja ja päättelyjä. Tutkimuksessa käytännön maastotestejä tehtiin harrasteluokkaan kuuluvalla UAS-järjestelmällä, jonka takia tutkimuksen tulokset eivät ole täysin yleistettäviä. Mittaukset antavat kuitenkin osviittaa ja tukea johtopäätöksille.

Tavoitteena tutkimuksessa on saada tietoa UAS-järjestelmän käyttökelpoisuudesta ja tehokkuudesta taimikontarkastuksessa sekä ymmärrys lainsäädännön konkreettisesta vaikutuksesta lentotyöhön. Tavoitteen saavuttamisen tueksi käyttökelpoisuudelle ja tehokkuudelle on asetettu tutkimuskysymykset, jotka ohjaavat tutkimuksen käytännön toteutusta.

Käyttökelpoisuuteen kuuluvat tutkimuskysymykset ovat seuraavat: Pystyykö UAS-järjestelmällä selvittämään taimikon tiheyden tasaisuuden? Pystyykö ortomosaiikista laskemaan taimikon runkoluvun ja mikä on laskennan tarkkuus?

Tehokkuuden tutkimuskysymys on: mikä on UAS-järjestelmällä tehdyn tarkastuksen ajallinen ero verrattuna perinteiseen maastotarkastukseen.

2 EDELLYTYKSET UAS-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖN

2.1 Dronen monta nimeä

Miehittämätön ilmailu – tai droneala – on siviilimarkkinoilla uusi tapa ilmailulla. Tämän takia alan toimijoiden keskuudessa ei ole vielä päästy täysimääräiseen yhteisymmärrykseen siitä, mitä termiä miehittämättömästä ilma-aluksesta käytetään. Puhekielessä miehittämättömästä ilma-aluksesta käytetään termiä drone (Kuva 1). Kotimaisten kielten keskuksen sanakirjaan sanat drone ja drooni ilmestyivät vuonna 2016. Sanakirjassa dronea ja droonia kuvaillaan robottilennokiksi, joka käsittää myös maalla ja vedessä liikkuvat vastaavat laitteet. (Lentoposti, 2018; Kielitoimiston sanakirja, 2018)



Kuva 1. DJI:n valmistama drone Mavic 2 Pro varustettuna RGB-kameralla. (Kuva, Laamanen 2019)

Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto (Kuva 2, s.4) ja Yhdysvaltojen ilmailuhallinto käyttävät dronesta termiä *Unmanned Aircraft (UA)*, eli miehittämätön ilma-alus. Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto määrittelee miehittämättömän ilma-aluksen tarkoittavan sellaista ilma-alusta, joka toimii tai jonka on tarkoitus toimia itsenäisesti, tai ilma-alukseksi, jota voidaan kauko-ohjata ilman aluksessa olevaa ohjaajaa. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019; FAA, 2019)

Yksinään miehittämätön ilma-alus ei kuitenkaan vielä lennä, vaan tueksi tarvitaan järjestelmää. Järjestelmä sisältää kauko-ohjauspaikan, kauko-ohjauslaitteen ja komentoyhteyksien sovelluksen, jonka avulla lentämisestä saadaan hallittua ja turvallista. Jos miehittämätön ilma-alus on itsenäisesti toimivan ilma-aluksen sijaan kauko-ohjattu, tarvitaan järjestelmään lisäksi kauko-ohjaaja. Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto ja Yhdysvaltojen

ilmailuhallinto käyttävät miehittämättömästä ilma-alusjärjestelmästä nimitystä *Unmanned Aircraft System (UAS)*. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019; FAA, 2019)



Kuva 2. Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto EASA:n logo (EASA, 2014).

Suomessa Liikenne- ja viestintävirasto Traficom (jäljempänä ”Traficom”) käyttää dronesta pääsääntöisesti miehittämättömän ilma-aluksen alakategoriaan kuuluvaa termiä: kauko-ohjattu ilma-alus. Tällä sanavalinnalla Traficom on halunnut painottaa enemmän ilma-aluksen kauko-ohjautuvuutta, kuin miehittämättömyyttä. Lentokelpoisesta ilma-alusjärjestelmästä Traficom käyttää nimitystä kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä. Dronealan toimijoiden keskuudessa kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmä –termistä toimijat käyttävät yleisesti termin englannin kielistä akronyymiä *RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)*. Tässä opinnäytetyöraportissa dronesta käytetään pääsääntöisesti termiä UA-laite ja ilma-alusjärjestelmästä termiä UAS. (Traficom, 2018a; Traficom, 2018b)

2.2 UA-laitteiden jaottelu

Suomen kansallinen sääntely jaottelee UA-laitteita toiminnan luonteen mukaan joko ammattikäytön kauko-ohjatuiksi ilma-aluksiksi tai harrastekäytön lennokeiksi. Tässä jaottelussa sama UA-laite voi käydä molempiin luokkiin. Jaottelu tapahtuu nimenomaan toiminnan luonteen mukaan. (Traficom, 2018a)

Toimintaa kutsutaan ammattikäytöksi, kun lentotyössä UA-laitetta käytetään johonkin erikoistehtävään, kuten mittaukseen, kartoitukseen tai tarkastukseen. Tällöin UA-laitteen lennättämisestä käytetään termiä lentotyö. Harrastekäytön toimintaa on sen sijaan toiminta, jossa UA-laitetta käytetään harraste-, tai urheilutarkoituksessa, kuten lennokkikerhojen lento-toiminnassa. Harrastekäytön toiminnassa UA-laitteesta käytetään termiä lennokki. (Traficom, 2018a)

Euroopan unionin asetukset jaottelevat UA-laitteet niiden aiheuttaman riskin ja lentotyön vaativuuden mukaan kuuluviksi joko avoimen-, erityisen-, tai sertifioidun luokan kategoriaan. UA-laitteiden jaottelu puhtaasti

niiden toimintakyvyn tai tekniikan mukaan on hankalaa, koska monella halvemman hintaluokan UA-laitteella pystyy jo tekemään samoja erikoistehtäviä, mitä kalliimman luokan UA-laitteilla. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

Monet miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien valmistajat jaottelevat UA-laitteita niiden käyttökohteen mukaan joko ammattilaitteiksi tai harrastelaitteiksi. Ammattilaitteet (Kuva 3) on suunniteltu soveltumaan paremmin erikoistehtäviin, kuten kartoitukseen ja tarkastukseen. Tämä näkyy niiden laajempaan käytettävyyteenä, suurempaan kokonaan ja monipuolisina hyötykuormien kiinnitys mahdollisuuksina.



Kuva 3. DJI:n valmistama Matrice 600 ammattikäytön UA-laite. (DJI, 2019)

Harrastelaitteet on sen sijaan suunniteltu selkeästi soveltumaan kohdistetummin ilmakuvaukseen ja urheilutoimintaan. Harrastelaitteiden koko on usein pienempi ja hyötykuormien kiinnitysmahdollisuudet ovat rajoituneempia verrattuna ammattilaitteisiin. (VideoDrone, 2019)

2.3 Euroopan unionin säädökset

Tähän asti Euroopan unionin tasolla miehittämättömään ilmailuun on vaikuttanut osittain Euroopan komission täytäntöönpanoasetus 923 ilmailun yhteisistä lentosäännöistä, lennonvarmistuspalveluista ja -menetelmistä, sekä SERA lentosäännöt. Säädökset on tehty miehittetyille ilma-aluksille, jonka takia ne ottavat miehittämättömät ilma-alukset heikosti huomioon. Tämän takia Euroopan komissio julkaisi jäsenmaille kesäkuussa 2019 vain miehittämättömiä ilma-aluksia koskevan täytäntöönpanoasetuksen 947 (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019) säännöistä ja menetelmistä

miehittämättömien ilma-alusten käytössä, sekä lisäksi delegoidun asetuksen 945 (Komission delegoitu asetus 945/2019) miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä ja kolmansien maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjistä. (EASA, 2019a; EASA, 2019b; Traficom, 2019)

Julkaistut säädökset vahvistavat Euroopan unionin yhteiset turvallisuussäännöt siviili-ilmailuun. Säädöksiä tullaan soveltamaan suoraan Euroopan unionin jäsenmaiden kansallisissa tuomioistuimissa ja muissa kansallisissa viranomaisissa. Säädökset tulevat sovellettavaksi jokaisessa jäsenmaassa pääsääntöisesti 1.7.2020 alkaen. Joitain kansallisia täydentäviä määrittelyjä sekä vakioskenaarioita kuitenkin vielä valmistellaan, mutta niidenkin pitäisi valmistua vuoden 2019 loppuun mennessä. (EASA, 2019a; EASA, 2019b)

Vakioskenaariolla tarkoitetaan toimintaa, joka on Euroopan unionin lentoturvallisuusviraston etukäteen määrittelemää ja vakioitua lentotyötä. Vakioskenaariot tulevat olemaan toimintaa suorassa näköyhteydessä kaupunkialueella, eli niin kutsuttua VLOS-toimintaa (*Visual Line of Sight Operation*), sekä toimintaa suoran näköyhteyden ulkopuolella maaseudulla, eli niin kutsuttua BVLOS-toimintaa (*Beyond Visual Line of Sight Operation*). Vakioskenaariotoiminnalla Euroopan komissio on halunnut helpottaa lentoluvan hakemista kategoriaan erityinen.

Euroopan unionin lentoturvallisuusviraston toimitusjohtaja Patrick Ky kuvaili uusia säädöksiä seuraavasti:

”Eurooppa tulee olemaan ensimmäinen hallinnollinen alue maailmassa, jolla on droneille kattavat säädökset varmistamaan turvallisuuden, yksityisyyden ja kestävän toiminnan niiden käytössä niin kaupallisiin tarkoituksiin, kuin vapaa-ajan aktiviteetteihin. Yhteiset pelisäännöt tulevat edistämään investointeja, innovaatioita ja kasvua tässä lupaavassa sektorissa.” (EASA, 2019)

Säädökset tulevat ottamaan paremmin huomioon kokonaisturvallisuuden, ympäristön, yksityisyydensuojan sekä meluvaikutukset, mitä aikaisemmat Euroopan unionin säädökset ja kansalliset asetukset. Uudet säädökset tuovat vaatimuksia myös laitevalmistajille, UA-laitteille, sekä ne helpottavat toimijoiden elinkeinon harjoittamista ETA-maissa, kun kaikki Euroopan unionin jäsenmaat noudattavat samoja säädöksiä. (EASA, 2019a; EASA, 2019b)

Jatkossa UA-laitteiksi laskettavat laitteet täytyy myös rekisteröidä ja toimijoiden täytyy suorittaa Traficomın järjestämä kurssi miehittämättömistä ilma-aluksista. Säädöksiä 947 ja 945 ei kuitenkaan sovelleta leluiksi laskettaisiin UA-laitteisiin, joiden massa on alle 250 grammaa ja joihin ei saa kiinnitettyä hyötykuormaa. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019; Hannola, 2019)

2.4 EASA:n säädösten mukaiset toimintakategoriat

Euroopan komission julkaisema täytäntöönpanoasetus 947 säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä jaottelee UA-laitteet toiminnan aiheuttaman riskin ja vaativuuden perusteella kolmeen eri kategoriaan (Kuva 4). Kategoriat ovat: avoin-, erityinen-, ja sertifioitu-kategoria. Kaikille näille kategorioille on laadittu omat vaatimukset, jotka toimijan lentotyön ja UA-laitteen on täytettävä toimiessaan halutussa kategoriassa. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019; Traficom, 2018a)



Kuva 4. EASA:n säädösten mukaiset toimintakategoriat. (Uplift Drones, 2019)

2.4.1 Toimintakategoria avoin

Avoimessa kategoriassa lentotyön täytyy olla VLOS-toimintaa. Lennon aikana UA-laite on pidettävä turvallisen välimatkan päässä ihmisistä, eikä sitä saa lennättää ihmisjoukon yläpuolella. Avoimessa kategoriassa UA-laitteen massan täytyy hyötykuorma mukaan luettuna olla 0,25–25 kiloa ja maksimilentokorkeus on 120 metriä. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

Avoimessa kategoriassa toimiessa toimijan ei tarvitse tehdä viranomaiselle UA-laitteen käytöstä ilmoitusta, tai hakea käyttöön erillistä toimintalupaa. Kategoria jaetaan vielä kolmeen alakategoriaan A1, A2 ja A3, joista jokaiselle on säädöksissä erikoisvaatimuksia (Liite 2). (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

2.4.2 Toimintakategoria erityinen

Lentotyö määritellään kuuluvaksi kategoriaan erityinen, jos lentotyö tarvitsee laajempia toimintaedellytyksiä, mitä avoin kategoria antaa myöten. Erityisessä kategoriassa lentotyö voi olla VLOS-toimintaa, tai vaihtoehtoi-

sesti BVLOS-toimintaa (*Beyond Visual Line of Sight Operation*). Toimintakategoriassa erityinen lentotyöhön tarvitaan aina lentolupa, jonka voi hakea Traficomilta. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

Erityinen kategoria mahdollistaa lentotyön suorittamisen ihmisjoukon yläpuolella, jos siihen liittyvät vaatimukset täyttyvät. Kategoriassa on myös laajemmat vaikuttamismahdollisuudet UA-laitteen maksimimassaan ja maksimilentokorkeuteen verrattuna avoimeen kategoriaan. Jos UA-laitteen ominaismitat, käyttötarkoitus tai muut ominaisuudet kuitenkin ylittävät säädöksen sertifiointivaatimuksien tasolle, täytyy UA-laite sertifioida. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

Toimija voi hakea lentolupaa erityinen kategoriaan kolmella vaihtoehdolla tavalla. Ensimmäinen tapa on hakea lentolupaa Traficomilta ilmoituksella vakioskenarion mukaiseen toimintaan. Toinen tapa on hakea Traficomilta lentolupa toimintalupahakemuksella. Toimintalupahakemuksella voi hakea lentolupaa yksittäistä tai useampaa toimintakertaa varten. Toimintalupahakemuksen kanssa Traficomille on toimitettava toiminnan riskinarviointi. Riskien minimoimiseksi riskinarvioinnissa täytyy myös esittää asianmukaiset riskien lieventämistoimenpiteet, eli toimenpiteet, jotka toimija tekee tai on ottanut huomioon, jotta lentotyön aiheuttamat riskit olisivat mahdollisimman pienet. Lennokkikerhojen ja -yhdistyksien, jotka ovat jo saaneet viranomaiselta toimintaluvan, ei tarvitse tehdä toimintalupahakemusta tai ilmoitusta lentotoiminnasta. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019; EASA, 2019b)

Kolmas tapa hakea lentolupaa kategoriaan erityinen on hakea viranomaiselta ”kevyen miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän käyttäjän hyväksyntätodistusta”, eli LUC-todistusta (*Light UAS Operator Certificate*). LUC-todistuksen omaava toimija voi suorittaa lentotyötä ilman toimintalupahakemusta tai erillistä ilmoitusta vakioskenarion mukaiseen toimintaan. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

LUC-todistuksella Euroopan komissio on pyrkinyt helpottamaan lentotoiminnan suorittamista organisaatitasolla. LUC-todistuksen vaatimukseen kuuluu, että LUC-todistuksen omaavassa organisaatiossa on oltava UAS-järjestelmän käytölle vastuuhenkilö, joka on vastuussa lentoluvan antamiselle omassa organisaatiossaan. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019)

2.4.3 Toimintakategoria sertifioitu

Kategoria sertifioitu eroaa huomattavasti kategorioista avoin ja erityinen. Lentotyö voidaan luokitella kuuluvaksi kategoriaan sertifioitu, jos UA-laitteen ominaismitat tai käyttötarkoitus ylittävät sertifiointivaatimusten tasolle. UA-laitteen ominaismittojen osalta jokin laitteen mitoista tulee olla vähintään kolme metriä, jotta sertifiointia vaaditaan.

Sen sijaan käyttötarkoituksen osalta sertifiointia voidaan vaatia, jos lentotyötä harjoitetaan ihmisjoukon yläpuolella, kuljettaen ihmisiä, tai kuljettaen vaarallisia aineita, joista onnettomuuden sattuessa voi kolmansille osapuolille aiheutua suurta haittaa. (Komission täytäntöönpanoasetus 947/2019; Komission delegoitu asetus 945/2019)

2.5 Suomen kansalliset säädökset

Suomessa miehittämättömillä ilma-aluksilla suoritettavaan lentotyöhön on viranomaisten taholta pyritty suhtautumaan hyvin sallivasti ja viranomainen on halunnut antaa edellytyksiä kokeilulle ja toiminnan kehittämiseksi. (Traficom, 2018b)

Miehittämättömien ilma-aluksien alakategoriaan kuuluvia kauko-ohjattavia ilma-aluksia sääntelee kuitenkin Traficomien antama määräys kauko-ohjattujen ilma-aluksen ja lennokin käyttämisestä ilmailuun, eli OPS M1-32. Määräystä sovelletaan yli 250 grammaan painaviin kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin ja lennokkeihin. (Traficom, 2018a)

Suomen ilmailulaki vaikuttaa myös miehittämättömään ilmailuun, ellei Euroopan unionin asetuksesta tai muusta kansainvälisestä velvoitteesta muuta johdu. Ilmailulain säädökset muun muassa ilmailurikkomuksesta, huumaavan aineen käyttämisestä ilmailussa, vahingonkorvausvastuusta, sekä lennon valmistelusta vaikuttavat UAS-järjestelmällä suoritettavaan lentotyöhön. (Traficom, 2018b; Traficom, 2018a; Ilmailulaki, 864/2014 § 1)

OPS M1-32 -määräyksen ja ilmailulain lisäksi lentotyöhön sovelletaan tarpeen mukaan säädöksiä muun muassa yksityisyydensuojasta, liikkumis- ja oleskelurajoituksista, kotirauhasta, sekä liikenneturvallisuuden vaarantamisesta ja ilmaliikennejuopumuksesta. Säästösten lisäksi lentotyötä suorittavan täytyy tuntea ilmatilan joustavan käytön menetelmät, jotka on kerrottu ASM-toimintakäsikirjassa. (Traficom, 2018b)

2.5.1 Minimivaatimukset lentotyölle

Yleisinä minimivaatimuksina lentotyölle on maksullisen toimijailmoituksen tekeminen Traficomille ja vastuuvakuutuksen hankkiminen kolmansien osapuolten vahinkoja vastaan. Näiden toimien lisäksi kauko-ohjattu ilma-alus on merkittävä omistajatiedoilla ja lentotyöstä on pidettävä lentopäiväkirjaa, jota on säilytettävä kaksi vuotta lentotyön ajankohdasta. Vahingon tai läheltä piti -tilanteen sattuessa on tehtävä kirjallinen raportti vahingosta Traficomille. (Traficom, 2018a; Traficom, 2019)

Minimivaatimukset täyttävän lentotyön suorittaminen on sallittua 150 metrin maksimilentokorkeudessa enintään 25 kiloa painavalla kauko-ohjattavalla ilma-aluksella alueella, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta. Len-

totyöhön tiheästi asutun alueen päällä, lähellä ihmisjoukkoa tai ihmisjoukon päällä sekä lentotyöhön suoran näköyhteyden ulkopuolella määräysasettaa lisävaatimuksia kauko-ohjattavan ilma-aluksen massaun ja vaadittaviin asiakirjoihin. (Traficom, 2018a; Traficom, 2019)

2.5.2 Erikoistapaukset lentotyössä

OPS M1-32 -määräyksessä on tarkemmat vaatimukset lentotyöstä tiheästi asutun alueen päällä, lähellä ihmisjoukkoa, ihmisjoukon päällä ja BVLOS-toiminnasta ilman kauko-ohjaustähystäjää. Kauko-ohjaustähystäjällä tarkoitetaan henkilöä, joka varmistaa lentotyön turvallisuuden tarkkailemalla jatkuvasti kauko-ohjatun ilma-aluksen sijaintia ja ympäröivää ilmatilaa. (Traficom, 2018a; Traficom, 2019)

Tiheästi asutun alueen päällä saa suorittaa lentotyötä enintään kolme kiloa painavalla kauko-ohjattavalla ilma-aluksella 150 metrin korkeudessa, jos lentotyö alueella on turvallista toimijan oman harkintakyvyn mukaan. Tämän lisäksi lentoalueeseen on täytynyt tutustua etukäteen ja kauko-ohjattavan ilma-aluksen kunnan on oltava moitteeton. Lisäksi 3–7 kiloa massaltaan olevalla kauko-ohjattavalla ilma-aluksella tarvitaan lentotyöhön tiheästi asutun alueen päällä kirjallinen toimintakuvaus, turvallisuusarviointi sekä toimintaohjeistus normaali- ja häiriötilanteille. Tiheästi asutulla alueella tarkoitetaan aluetta, jossa asukkaita tai työpaikkoja on 800 tai enemmän yhtä neliökilometriä kohden. (Traficom, 2018a; Traficom, 2019)

Lentotyöhön ihmisjoukon päällä tai lähempänä kuin 50 metriä ihmisjoukosta täytyy myös tehdä kirjallinen toimintakuvaus, turvallisuusarviointi, sekä toimintaohjeistus normaali- ja häiriötilanteille. Ilma-aluksen massa saa olla enintään seitsemän kiloa ja maksimilentokorkeus on 150 metriä. Yllämainituissa tapauksissa vaadittavia asiakirjoja ei tarvitse toimittaa Traficomille, riittää kun ne voidaan tarvittaessa esittää Traficomille. (Traficom, 2018a; Traficom, 2019)

BVLOS-toiminnassa ilman kauko-ohjaustähystäjää täytyy kirjallisen toimintakuvaus, turvallisuusarvioinnin ja toimintaohjeistuksen laatimisen lisäksi hakea Traficomilta ilmatilavarausta vähintään kahdeksan viikkoa ennen ensimmäistä lentopäivää. Lisäksi vaaditut asiakirjat täytyy toimittaa Traficomille ennen lentotyön aloittamista. (Traficom, 2018a; Traficom, 2019)

2.6 Lentotyö Suomen ilmatilassa

2.6.1 Lentotyön kielto-, rajoitus- ja vaara-alueet

Kieltoalueella, eli P-alueella (*Prohibited Area*) ilmailu niin miehittyillä kuin miehittämättömillä ilma-aluksilla on ehdottomasti kielletty. Rajoitusalueilla, eli R-alueilla (*Restricted Area*) lentotyö miehittämättömillä ilma-aluksilla on rajoitettua. Pysyviä rajoitusalueita on perustettu muun muassa Puolustusvoimien ja Rajavartiolaitoksen hallinnoimille maa-alueille. Lentotyölle rajoitusalueella tarvitaan aina Puolustusvoimien tai Rajavartiolaitoksen lupa. (Traficom ja Ilmavoimien esikunta, 2019, s. 15)

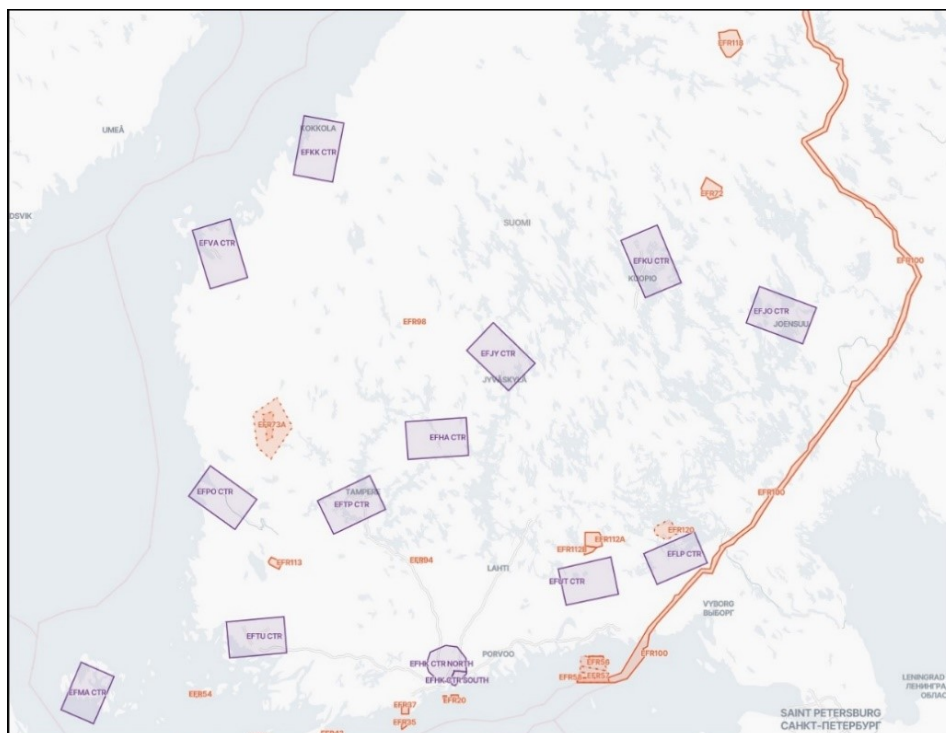
Vaara-alueella, eli D-alueella (*Danger Area*) voi olla lentoturvallisuudelle vaarallista toimintaa, kuten BVLOS-toimintana suoritettavaa lentotyötä UAS-järjestelmällä. Vaara-alueet eivät ole aktiivisia jatkuvasti, vaan aluetta hallinnoiva toimija aktivoi alueen aina ennen lentämisen tai lentotyön aloittamista. Aktivoidulle vaara-alueelle voi lentää miehittämättömällä ilma-aluksella, jos lentotyötä suorittava toimija tiedostaa siitä koituvat riskit ja lentotyö täyttää vaara-alueelle lentämiselle asetetut vaatimukset. (Traficom ja Ilmavoimien esikunta, 2019, s. 15–17)

Tilapäisluonteiset vaara-alueet, eli Tempo-D (*Temporary Reserved Area*) ovat tilapäisiä vaara-alueita, joiden perustamista lentotyötä tekevä toimija voi hakea Traficomilta. (Traficom ja Ilmavoimien esikunta, 2019, s. 15–17)

2.6.2 Lentotyö lentokenttien läheisyydessä

Valvottuja lentokenttiä ympäröivä ilmatila on jaettu lähestymisalueisiin, eli TMA-alueisiin (*Terminal Control Area*) ja lähialueisiin, eli CTR-alueisiin (*Control Zone*). Lähestymisalueella käsitetään 1–3 kilometrin etäisyydellä lentokentästä oleva ilmatila. Lähialue käsitetään alkavaksi kolmen kilometrin etäisyydessä lentokentästä ja jatkuvan suorakulmion muotoisena alueena erillisen karttamäärityksen mukaan (Kuva 5, s.12). (Traficom ja Ilmavoimien esikunta, 2019, s. 8.)

Lähestymisalueella lentotyö UA-laitteella on sallittua kiinteän esteen läheisyydessä esteen korkeudella. Lähialueella lentotyön maksimikorkeus on 50 metriä. Niin lähestymisalueella kuin lähialueella maksimilentokorkeus voidaan ylittää 15 metrillä, jos siihen on esteen omistajan lupa. Sen sijaan minkäänlainen lennokin lennättäminen tai lentotyö on ehdottomasti kiellettyä yhden kilometrin säteellä kiitotien reunasta. Lennonvarmistusyksiköltä voi anoa erillistä lennätyslupaa, jos lentotyössä halutaan poiketa lähestymisalueen ja lähialueen maksimilentokorkeuksista. (Traficom, 2018a, s. 15)



Kuva 5. Eteläisen Suomen lentokenttien lähialueet on merkattu kartta-kuvaan violeteilla suorakulmioilla. (Aviamaps, 2019)

2.6.3 ASM-toimintakäsikirja ja Aviamaps-palvelu

ASM-toimintakäsikirja on Traficom ja ilmavoimien esikunnan julkaissama käsikirja, joka sisältää ilmatilan joustavan käytön menetelmän säädökset ja ohjeistukset. Käsikirjalla pyritään varmistamaan ilmatilan joustava, läpinäkyvä, turvallinen, sekä tehokas käyttö monien eri ilmatilaa käyttävien toimijoiden kesken. ASM-toimintakäsikirjasta löytyy määritelmät ilmatilan kielto-, rajoitus ja vaara-alueista, sekä määritelmät lentokenttien lähestymisalueista ja lähialueista. Lentotyön suorittaminen näillä alueilla on käsitelty määräyksessä OPS M1-32. (Traficom ja Ilmavoimien esikunta, 2019, s. 10–11)

Aviamaps on Internetissä toimiva ilmailukarttapalvelu, josta löytyy informatiivisina karttoina lentotyötä rajoittavat ilmatilavaraukset ja muut huomioon otettavat seikat. Palvelussa on miehittämättömälle ilmailulle oma karttaikkuna. Palvelun kautta voi myös tehdä D-aluehakemuksen. (Lentoposti, 2019)

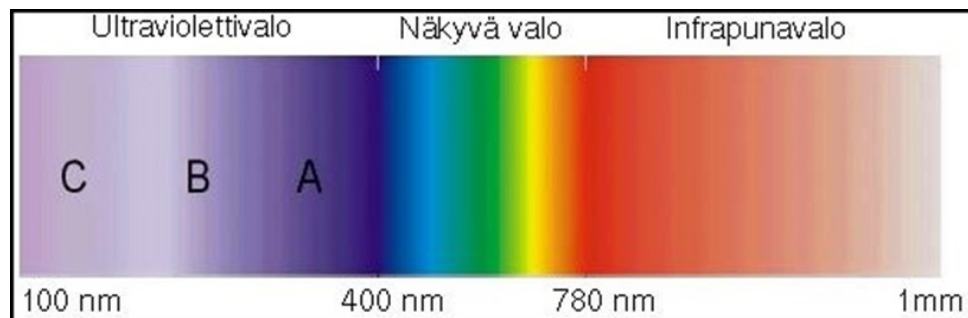
3 UAS-JÄRJESTELMÄ TAIMIKON TARKASTUKSESSA

3.1 Fotogrammetria ja ortomosaiikki

Fotogrammetriaa voidaan pitää yhtenä maanmittaustieteiden osa-alueena, joka tutkii ympäristössä olevien kohteiden mittaamista valokuvien avulla. Ilmasta otettuja valokuvia voidaan käyttää muun muassa maastokarttojen ja ortomosaiikkien tuotannossa (Vinni, 2003). Yleisin tapa kerätä kuvamateriaalia maastokarttojen tuottamiseen on ollut kaukokartoitus lentokoneilla. Dronealan kasvun myötä kaukokartoitusta on alettu tehdä myös UAS-järjestelmillä kasvavissa määrin.

Kaukokartoitus perustuu kohteen heijastaman ja lähettämän sähkömagneettisen säteilyn havainnointiin. Passiivisessa kaukokartoituksessa mitausinstrumentti havaitsee kohteesta säteilevää sähkömagneettista säteilyä. Sen sijaan aktiivisessa kaukokartoituksessa instrumentti lähettää kohteeseen säteilyä, joka heijastuu vastakaikuina takaisin mitausinstrumenttiin mitattavaksi. (Vepsäläinen, 2001)

Harrasteluokan UAS-järjestelmissä hyötykuormana on usein niin sanottu RGB-kamera (Red, Green, Blue), eli kamera, jolla voidaan havaita sähkömagneettisesta säteilystä näkyvän valon spektri (Kuva 6). Havainnointi tapahtuu passiivisena havainnointina valokuvia ottamalla. Järjestelmissä on myös satelliittipaikannusjärjestelmä, jonka avulla jokaisen valokuvan tarkka sijainti tiedetään käytetyssä koordinaattijärjestelmässä. (Vepsäläinen, 2001)

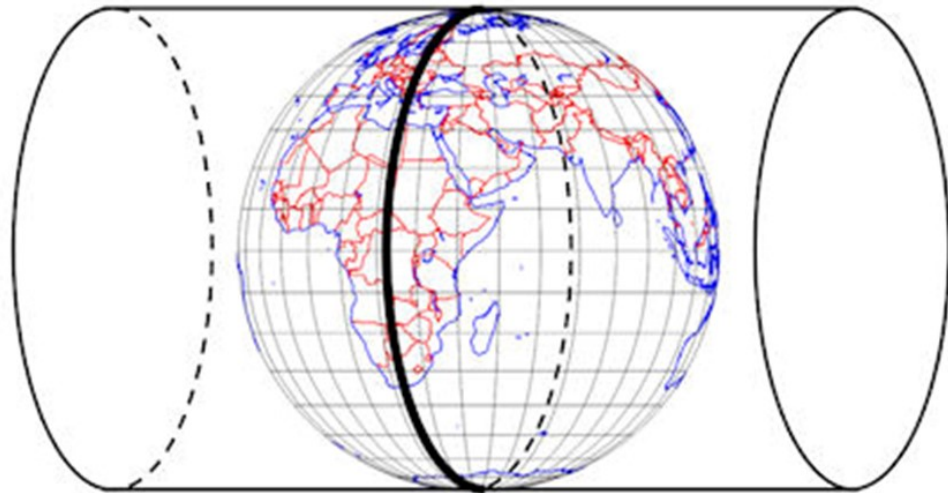


Kuva 6. Ihmissilmä pystyy havaitsemaan noin 400–780 nanometrin aallonpituusalueella olevaa sähkömagneettista säteilyä punaisen, vihreän ja sinisen väreissä. (Ilmatieteen laitos n.d.)

Ortomosaiikki saadaan tuotettua fotogrammetrian menetelmillä kaukokartoituksen kuvamateriaalista, kun kartoitusalueen ja siitä muodostetun valokuvan välinen geometrinen suhde tiedetään. Ortomosaiikin tuottaminen alkaa valokuvamateriaalin prosessoimisella fotogrammetrisella ohjelmalla, joka yhdistää valokuvat kuvissa näkyvien liitospisteiden avulla. Ohjelma esimerkiksi tunnistaa eri kuvista saman maston ja yhdistää kuvat maston sijainnin perusteella. Tämän takia valokuvien ottamisessa täytyy käyttää korkeita pitkittäis- ja sivuttaispeittoprosentteja, jotta liitospisteitä

löytyisi riittävän paljon. Ohjelma myös tasapainottaa valokuvien värit ja tasapainoisuuden. (Pix4D, 2019; Vinni, 2003)

Prosessoinnin jälkeen kuvamateriaali oikaistaan karttaprojektioon (Kuva 7), jonka avulla saadaan poistettua korkeuserojen aiheuttamat virheet mitasuhteisiin. Valmiilta ortomosaiikilta voidaan luotettavasti mitata koordinaatteja, etäisyyksiä ja pinta-aloja. Fotogrammetria-ohjelmat tuottavat usein kuvamateriaalista myös erillisen pintamallin (*Digital Surface Model*) sekä 3d-mallin. (Haggren, 2002; Pix4D, 2019)



Kuva 7. Gauss-Krüger -karttaprojektiossa projektio Suomesta voidaan jäsentää laittamalla sivuamaan yksi Suomen kautta kulkeva pituuspiiri lieriön sisäpintaa pitkin päiväntasaajan kohdalla. (Matti Grönroos, 2010)

3.2 T1-luokan taimikon uudistustarkastus

Kehitysluokkaan T1 kuuluvien taimikoiden niin kutsuttuja uudistustarkastuksia tekemällä pyritään varmistamaan, että metsälain uudistamisvelvoite on täytetty tai tullaan saamaan täytetyksi. Metsälain mukaan käsittelyalueelle on saatava kriteerit täyttävä taimikko maantieteellisestä sijainnista riippuen viimeistään 10–25 vuoden kuluessa, jos uudistamisvelvoite on syntynyt. Eteläisessä Suomessa aikaraja uudistamisvelvoitteen täyttämiseksi on 10 vuotta.

Taimikon katsotaan täyttävän kriteerit, kun se on riittävän tiheä ja taimet ovat jakautuneet tasaisesti käsittelyalueelle, sekä taimien keskipituus on vähintään 0,5 metriä. Muu kasvillisuus ei myöskään saa välittömästi uhata taimien kasvua. Havupuuvaltaisissa taimikoissa riittäväksi tiheydeksi Eteläisessä Suomessa katsotaan 1 500 tainta hehtaarilla. Lehtipuuvaltaisissa taimikoissa riittävä tiheys on 1 100 tainta hehtaarilla. (Äijälä ym., 2014, s. 38.; Metsälaki 1093/1996 § 8)

3.3 T2-luokan taimikon taimikontarkastus

T2-luokan taimikoihin tehtävässä taimikontarkastuksessa tavoitteena on tarkastella taimikonharvennuksen työnjäljen tasaisuutta ja määrittää kasvatettavaksi jätettyjen taimien keskimääräinen runkoluku hehtaaria kohden.

Eteläisessä Suomessa männyn taimikonharvennuksessa runkoluvuksi suositellaan 2 000–2 200 runkoa hehtaarille ja harvennuksen ajankohdaksi, kun taimikko on keskipituudeltaan 5–7 metriä. Kuusikon taimikonharvennuksessa runkoluvuksi suositellaan 1800–2000 runkoa hehtaarille ja ajankohdaksi, kun taimikon keskipituus on 3–4 metriä. Koivikoissa runkoluvuksi suositellaan jätettäväksi 1600 runkoa hehtaarille ja ajankohdaksi, kun taimikko on keskipituudeltaan 4–5 metriä. (Äijälä ym., 2014, s. 56)

3.4 Aiemmat tutkimukset aiheesta

3.4.1 Maaseutu 2.0 -hanke

Maaseutu 2.0 -hankkeessa Suomen metsäkeskus tutki UAS-järjestelmän hyödyntämistä taimikoiden inventoinnissa ja tarkastustoiminnassa. Hankkeen tarkoituksena oli tiedon ja osaamisen hankkiminen yhteistoimintakonsepteihin, jotka hyödyntävät toiminnassaan luonnonvaratietojärjestelmiä. Tiedon ja osaamisen hankinnalla pyrittiin aktivoimaan luonnonvaralan yrittäjyyttä sekä parantamaan alan osaamista ja kilpailukykyä. Yhtenä osana tätä kokonaisuutta Suomen metsäkeskus tutki myös työkohteiden joustavia kartoitusmenetelmiä UAS-järjestelmällä. (Aito maaseutu Keski-Suomessa, n.d)

Suomen metsäkeskuksen metsätietopäällikkö Raito Paanasen mukaan UAS-järjestelmällä tuotettua kuvamateriaalia voidaan käyttää sekä visuaaliseen, että numeeriseen tulkintaan. RGB-kameralla varustetulla UAS-järjestelmällä on mahdollista tuottaa ortomosaiikki, jonka resoluutio on yleensä riittävä visuaaliseen tulkintaan. Ortomosaiikilta havupuuston runkolukua pystytään päättelemään hyvin taimikonhoidon jälkeen. Varttu-neissa puustoissa myös puulajien erottelu onnistuu aika hyvin. Kuitenkin hyvä apuväline puulajisuhteiden tulkintaan ja puuston pituuden arviointiin voisivat olla viistokuvat ja pistepilvistä muodostetut 3d-mallit. (Paananen, 2018)

Paanasen mukaan tarkastustoimintaa ei yleensä kannata tehdä pienialaisissa tai yksittäisissä taimikoissa, vaan selkeästi suurilla ja yhtenäisillä alueilla. Joka tapauksessa lyhytkin lento vaatii valmisteluja ja kohteelle siirtymisen, jossa kuluu aikaa. Pienialaisen taimikon käy tarkistamassa maastotarkastuksella samassa ajassa, mitä tarkastamiseen UAS-järjestelmällä menisi. Jotta tarkastustoiminta olisi tehokasta, kartoitettavan alueen täytyisi olla noin 10–100 hehtaarin kokoinen. (Paananen, 2018)

3.4.2 Laatuksuva-hanke

Osana Laatuksuva-hanketta Suomen metsäkeskus tutki Bitcomp Oy:n kanssa T1-luokan taimikoiden uudistustarkastuksen suorittamista UAS-järjestelmällä. Yhtenä päätavoitteena hankkeessa oli pyrkimys luoda toimintamalleja ja palvelukuvauksia korkealaatuisilta ilmakuvilta tapahtuvaan laadunvarmistukseen.

Suomen metsäkeskuksen metsätietopäällikkö Raito Paananen mukaan T1-luokan taimikoiden tarkastustoimintaa UAS-järjestelmällä on tutkittu vähemmän kuin muita metsätalouden sovelluskohteita. Osasyynä on se, että UAS-järjestelmän tuoma potentiaalinen hyöty nähdään suurempana T2-luokan taimikoissa ja puustoisissa metsissä, jonka takia tutkimustoiminta ohjautuu enemmän niihin. (Härkönen, 2019; Paananen, 2018)

Bitcomp Oy:n kehityspäällikkö Sanna Härkösen mukaan kuvaolosuhteet vaikuttavat paljon UAS-järjestelmällä tuotettuun kuvamateriaaliin. Kartoitustoiminnalle pilvinen sää on parempi kuin aurinkoinen. Auringonpaisteella kuvamateriaaliin tulee paljon varjoja, jotka voivat vaikeuttaa kuvatulkinntaa. Myös kuvauskorkeudella ja kameran asetuksilla nähtiin olevan suurta vaikutusta saatavan kuvamateriaalin laatuun. (Härkönen, 2019)

3.4.3 Muita tutkimuksia

Santtu Pakarinen tutki opinnäytetyössään – Tykkylumituhojen kartoitus RPAS-laitteistolla – UAS-järjestelmän soveltuvuutta tykkylumituhojen kartoitukseen. Pakarisen mukaan metsikkökuvioiden saavutettavuuden paraneminen talviolosuhteissa UAS-järjestelmän käytön myötä sekä UAlaitteen lentonopeus antavat selkeän edun tykkylumituhojen kartoituksen tekemiseen verrattuna perinteiseen maastotarkastukseen. UAS-järjestelmällä tuotetun kuvamateriaalin tarkkuus on myös huomattavasti parempi kuin perinteisillä miehitetyillä ilma-aluksilla tehdyn kuvamateriaalin. (Pakarinen, 2018)

Lisäksi Pakarinen esitteli fotogrammetrisen tulkinntan sovelluksen WebODM:n. Sovelluksen avulla voi jatkokäsitellä kuvamateriaalia fotogrammiin menetelmiin perustuen ja tuottaa muun muassa kuvamateriaalista pintamallin, ortomosaiikin ja 3d-mallin. Pakarinen esitteli myös Mapbox-sovelluksen, joka on internetissä toimiva karttojen ja muiden fotogrammetristen tuotteiden jakopaikka.

Jukka Mäkinen tutki opinnäytetyössään – Miehitämättömän ilma-aluksen käyttökohteet Metsänhoitoyhdistys Päijät-Hämeen toiminnassa ja toimintakäsikirjan laadinta – UAS-järjestelmän käyttökohteita Metsänhoitoyhdistys Päijät-Hämeen toiminnassa. Mäkinen tarkasteli muun muassa T2-luokan taimikoiden tarkastamista ja T1-luokan taimikoiden uudistustarkastusten suorittamista. Mäkisen mukaan työnjäljen tarkastaminen UAS-järjestelmällä on hyvin nopeaa silloin, kun työmaalla ei tarvitse tarkastella

puustotunnuksia, kuten runkolukua. Isonkin työmaan jokaisen kolkan voi käydä tarkistamasta UAS-järjestelmällä. (Mäkinen, 2017, s. 20)

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Tutkimuksen menetelmät ja vaiheet

Tämä tutkimus on tutkimuksellinen tutkimus, jossa käytetään niin kvalitatiivisen kuin kvantitatiivisen tutkimuksen tutkimusmenetelmiä hyödyksi. Tutkimustapana käytetään tapaustutkimuksen strategiaa. Tutkimusaineisto on sen verran suppea sekä käytettävä UAS-järjestelmä on harrasteluokan laitteisto, jonka takia tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää.

Yhtenä osana tutkimusongelmien ratkaisussa käytetään maastotestejä, joissa mitataan valittuja muuttujia, joista saadaan tarkkaa tietoa tutkimusongelmien selvittämiseksi. Maastotestit toimivat samalla käytännön ensikokeiluina, joiden aikana on tarkoitus empiirisesti havainnoida ja arvioida UAS-järjestelmän käyttökelpoisuutta. Näin ollen mitatut muuttujat, havainnot ja arvioinnit pätevät vain tässä tapauksessa ja vain tässä tutkimuksessa käytetyillä järjestelmillä. Tutkimuksen johdannossa esitetyn tavoitteen osalta lopullisiin johtopäätöksiin päästään teoriaosuuden ja maastotestien tuloksien yhdistelmällä.

Teoriaosuudessa käydään UAS-järjestelmällä suoritettavan lentotyön lakisääteisiä vaatimuksia lävitse perusteellisesti. Teoriapohjassa on esitelty muun muassa kansallisesti – kuin kansainvälisestikin – tärkeimmät vaatimukset ja niin sanotut minimikriteerit virallisen lentotyön suorittamiselle. Teoriaosuudessa esitellään myös kansalliset lentotyön kielto-, rajoitus-, ja vaara-alueet.

Tutkimuskysymyksiin UAS-järjestelmän käyttökelpoisuudesta taimikontarkastuksessa saadaan vastaukset UAS-järjestelmän käyttökelpoisuutta ja tehokkuutta tutkivilla maastotesteillä. Maastotestit sisältävät seitsemän työmaata, joista T1-luokan taimikoita on kolme ja T2-luokan taimikoita neljä. Näistä jokainen tarkistetaan niin lentotyönä tehtynä, kuin maastotyönä maastotarkastuksena. Lentotyössä T1-luokan taimikoissa työmaalta tarkastellaan ensin visuaalisesti ilmasta käsin istutustyön tasaisuutta ja T2-luokan taimikoissa sen sijaan tehdyn taimikonharvennuksen työnjäljen tasaisuutta. Tämän jälkeen työmaat kartoitetaan UAS-järjestelmällä. Kartoituksesta saadaan raakadatana kuvamateriaali sekä kartoitukseen kulunut aika.

Kartoituksen jälkeen työmaille suoritetaan maastotarkastus. Maastotarkastuksessa taimikoiden runkoluku lasketaan ympyräkoeloina ja maastotarkastukseen kuluva aika kellotetaan. Maastotarkastus katsotaan alkavaksi siitä hetkestä, kun otetaan ensimmäinen askel työmaan rajojen sisäpuolelle ja loppuvan, kun viimeinen ympyräkoela on mitattu ja on poistuttu työmaan rajojen sisäpuolelta. Maastotarkastuksen ohjeena käytetään Suomen metsäkeskuksen taimikonhoidon- ja istutustyön omavalvontalomaketta. Maastotestien tuloksia niin lentotyön kuin maastotarkastuksien osalta kirjataan tuloslomakkeelle (Liite 1).

Maastotestien jälkeen kartoituksesta saadusta kuvamateriaalista tuotetaan ortomosaiikit Pix4D-sovelluksella. Sovellus on Internetissä pilvipalveluna toimiva fotogrammetrisiin menetelmiin perustuva kuvien valmistus- ja analysointiohjelma.

Tutkimuskysymykseen ortomosaiikin käyttökelpoisuudesta runkoluvun laskentaan saadaan vastaukset suorittamalla paikkatietosovelluksella runkoluvun laskenta ortomosaiikista. Näin saatua runkolukutulosta verrataan maastotarkastuksella saatuun runkolukutulokseen. Runkoluvun laskentaan ja muuhun ortomosaiikkien visuaaliseen tarkasteluun käytetään Esrin paikkatieto-ohjelmaa ArcMap 10.4.

Tutkimuskysymykseen UAS-järjestelmätarkastuksen tehokkuudesta saadaan vastaukset vertailemalla kartoitustyöhön ja maastotarkastukseen kulunutta suoritusaikaa.

Maastotesteissä käytetty UAS-järjestelmä on Hämeen ammattikorkeakoulun omistama DJI:n Mavic 2 pro. UA-laitteessa hyötykuormana on 20 megapikselin Hasselblad kamera yhden tuuman CMOS-sensorilla. Kauko-ohjaimena on DJI:n Smart Controller -ohjain. Lentotyön suunnittelussa ja toteutuksessa käytetään DJI:n Pilot-ohjelmaa ja manuaalisessa lentotyössä DJI:n Go 4.0 -ohjelmaa

4.2 Tutkimuksen aineisto

Sain Etelä-Savon metsänhoitoyhdistykseltä tutkimukseen sopivat tarkastustyömaat (Taulukko 1 ja kuva 8, s. 20). T1-luokan uudistustarkastus taimikoita on kolme ja T2-luokan taimikontarkastus taimikoita neljä. Kaikki työmaat ovat pinta-alaltaan kohtuullisen pieniä. Työmaa kuusi on kaikista pienin (0,5 hehtaaria) ja suurin työmaa on työmaa kaksi viidellä hehtaarilla. Työmaalle yksi on tehty vain yksi lentotyö, kun kaikille muille työmaille lentotöitä on tehty kaksi kappaletta.

Pääpuulajina T2-luokan taimikontarkastuksissa on havupuu kaikissa työmaissa, paitsi työmaalla kuusi, jossa pääpuulajina on koivu. Pituudeltaan T2-luokan taimikot ovat 2–4 metriä, sekä työmaille oli tehty taimikonharrastus kevään ja kesän 2019 aikana. T1-luokan uudistustarkastuksissa pääpuulajina on kuusipuu. Kaikki T1-luokan taimikot on istutettu keväällä 2019, joten taimet ovat noin 20 senttimetrin mittaisia.

Taulukko 1. Tutkimukseen valikoituneiden työmaiden perustiedot.

Työmaan numero	Työlaji	Pinta-ala	Pääpuulaji	Lentoja (kpl)
Työmaa 1	Uudistustarkastus	3,5	Kuusi	1
Työmaa 2	Taimikontarkastus	5	Kuusi ja Mänty	2
Työmaa 3	Uudistustarkastus	1,1	Kuusi	2
Työmaa 4	Uudistustarkastus	4,4	Kuusi	2
Työmaa 5	Taimikontarkastus	0,8	Kuusi	2
Työmaa 6	Taimikontarkastus	0,5	Koivu	2
Työmaa 7	Taimikontarkastus	1,4	Kuusi	2

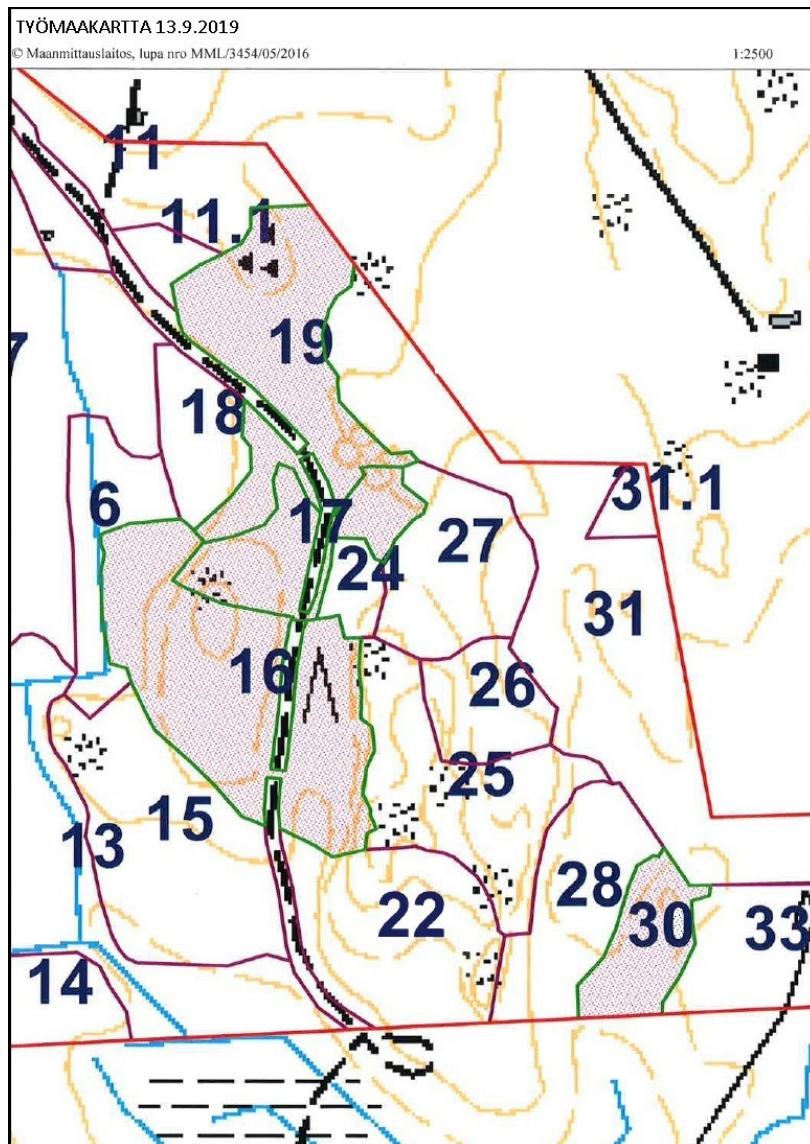


Kuva 8. T2-luokan taimikkoa työmaa kahdella. (Kuva, Laamanen 2019)

4.3 Maastotestien valmistelu

Valmistelevina toimenpiteinä tein tuloslomakkeen tuloksien kirjaamista varten. Lainasin myös tutkimuksessa käytettävän UAS-järjestelmän Hämeen ammattikorkeakoululta ja tarkistin järjestelmän toimintakunnon. Oleellisena osana valmisteleviin toimenpiteisiin kuului myös työmaiden karttatiedustelu (Kuva 9, s.21). Karttatiedustelussa tarkistetaan, ettei lentotyön kohde sijaitse lentotyön kielto-, rajoitus- tai vaara-alueella.

Tämän lisäksi tarkistin myös lentokenttien lähestymis- ja lähialueiden vaikuttamispiirin sekä muut mahdollisesti lentotyöhön vaikuttavat esteet, kuten sähkölinjat ja mastot. Karttatiedustelun jälkeen päätin, että työmaiden ilmatilassa on turvallista tehdä lentotyötä OPS M1-32 -määräyksen minimaatimuksien mukaan.



Kuva 9. Työmaalla ei ollut lentotyöhön oleellisesti vaikuttavia tekijöitä, kuten mastoja. (Laamanen, 2019)

Tutkimuksessa lentotyön perusajatuksena oli tehdä jokaiselle työmaalle kaksi kartoituslentoa erilaisilla lentoasetuksilla (Taulukko 2, s. 22). Pyrin tekemään jokaiselle työmaalle yhden kartoituslennon yleisesti hyväksi havaittujen lentoasetusten pohjalta, jossa pitkittäis- ja sivuttaispeittoprosentit ovat vaihteluvälillä 70–80 ja lentokorkeus vaihtelee 80–100 metrin välillä.

Toisessa lentotyössä pitkittäis- ja sivuttaispeittoprosentteja laskettiin huomattavasti ja lentokorkeutta vaihdettiin myös. Korkeimmillaan tein lentotyötä 100 metrissä ja matamillaan 50 metrissä. Työmaa kahden toinen lentotyö oli ajallisesti pisin, 21 minuuttia ja 41 sekuntia. Samasta lentotyöstä tuli myös eniten kuvia, 317 kappaletta. Ajallisesti lyhyin lentotyö oli työmaa kuuden toinen lentotyö, yksi minuutti ja 19 sekuntia. Siitä tuli myös vähiten kuvia, kuusi kappaletta.

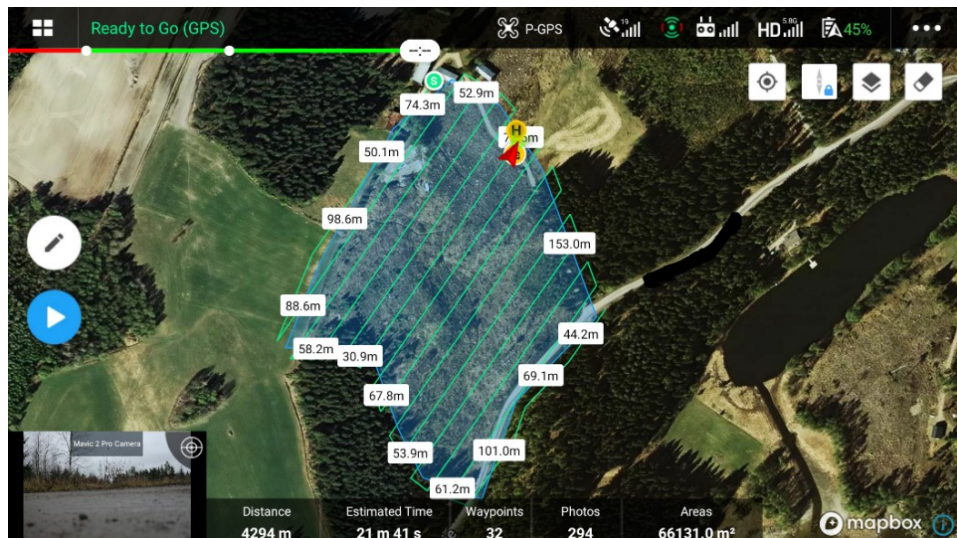
Kaksien erilaisten lentoasetuksien tarkoituksena oli saada empiirisiä havaintoja lentoasetusten vaikutuksesta lentotyön nopeuteen ja kuvamateriaalin käyttökelpoisuuteen. Erilaisilla lentoasetuksilla haluttiin myös varmistaa, että samalta työmaalta ainakin toisen lentotyön kuvamateriaali on riittävän laadukasta jatkokäsittelyyn ja ortomosaiikkien tuottamiseen.

Taulukko 2. Maastotestien lentoasetuksien perustiedot.

Lentoasetukset	Lento	Korkeus (m)	Pitkittäispeitto %	Sivuttaispeitto %	Kesto (min)	Maasto resoluutio (cm)	Kuvien lkm
Työmaa 1	1	50	50	50	0.20.52	1,22	128
	2	-	-	-	-	-	-
Työmaa 2	1	80	50	50	0.08.27	33,98	52
	2	80	80	80	0.21.41	1,75	317
Työmaa 3	1	60	80	80	0.10.26	1,34	177
	2	80	80	80	0.07.56	1,79	102
Työmaa 4	1	80	80	80	0.13.20	1,66	269
	2	100	50	60	0.06.05	2,09	42
Työmaa 5	1	80	80	70	0.03.38	-	41
	2	100	60	60	0.01.34	-	17
Työmaa 6	1	50	80	70	0.06.30	-	117
	2	100	60	50	0.01.19	-	6
Työmaa 7	1	100	80	70	0.02.39	-	68
	2	80	50	50	0.02.13	-	12

4.4 Maastotestien toteutus

Suoritin maastotestit 16.-27.9.2019 välisenä aikana. Useana päivänä sade tai liian sumuinen keli esti lentotyön turvallisen suorittamisen, jonka takia maastotestien tekemiseen kului ennakoitua enemmän aikaa. Saavuttuani työmaalle suunnittelin paikan päällä kyseisen työmaan lento-ohjelman (Kuva 10, s. 23). Lento-ohjelman suunnitteluvaiheessa huonot internet-yhteydet hidastivat usein työtä, koska suunnittelun pohjana käytettävät kartat eivät aina latautuneet kunnolla.



Kuva 10. Näyttökuva monitorista työmaan lento-ohjelmasta. Sovelluksella lento-ohjelman tekeminen on nopea ja vaivatonta.

Lento-ohjelman suunnittelun jälkeen toteutin ja valvoin suunnitelman mukaisen kartoitustyön (Kuva 11). Kartoittavan lentotyön aikana kauko-ohjaajan tehtävänä on tarkkailla UA-laitetta ja ilmatilaa sekä ottaa laite manuaaliseen hallintaan tarpeen vaatiessa. Kartoitustyön aikana UAS-järjestelmä toimi automaattilla hyvin ilman minkäänlaisia ongelmia. Kartoitustyön lisäksi tarkastelin työmailta manuaalisella lennolla taimikonharvennuksen, kuin istutustyönkin tasaisuutta. Kirjasin havaintoja tuloslomakkeelle.



Kuva 11. Kartoitustyön valvontaa taimikon laidalla. (Kuva, Laamanen 2019)

Lentotyön jälkeen suoritin jokaiselle työmaalle maastotarkastuksen (Kuva 12, s. 24). Maastotarkastuksissa mitattavia ympyräkoaloja oli 5–7 kappaletta yhtä työmaata kohden (Taulukko 3). Sijoitin koelat tasaisesti taimikkoon ja mittasin jokaiselta koelalta runkoluvun ohjeen mukaan ja kellotin maastotarkastukseen kuluneen ajan.



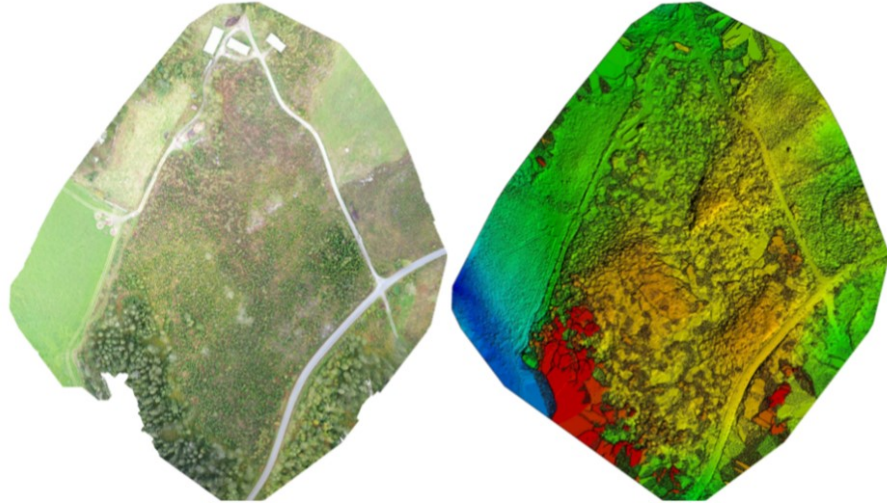
Kuva 12. Taimikon runkoluvun mittaamista 3,99 metrin mittakepillä. (Laamanen, 2019)

Taulukko 3. Maastotarkastuksien perustiedot.

Työmaan numero	Työlaji	Pinta-ala (ha)	Aika (min)	Koelat (kpl)	Runkoluku
Työmaa 1	Uudistustarkastus	3,5	0.16.00	6	1480
Työmaa 2	Taimikontarkastus	5	0.34.00	7	1960
Työmaa 3	Uudistustarkastus	1,1	0.10.00	5	1320
Työmaa 4	Uudistustarkastus	4,4	0.11.00	7	1400
Työmaa 5	Taimikontarkastus	0,8	0.14.00	5	1920
Työmaa 6	Taimikontarkastus	0,5	0.08.00	5	1900
Työmaa 7	Taimikontarkastus	1,4	0.13.00	5	1840

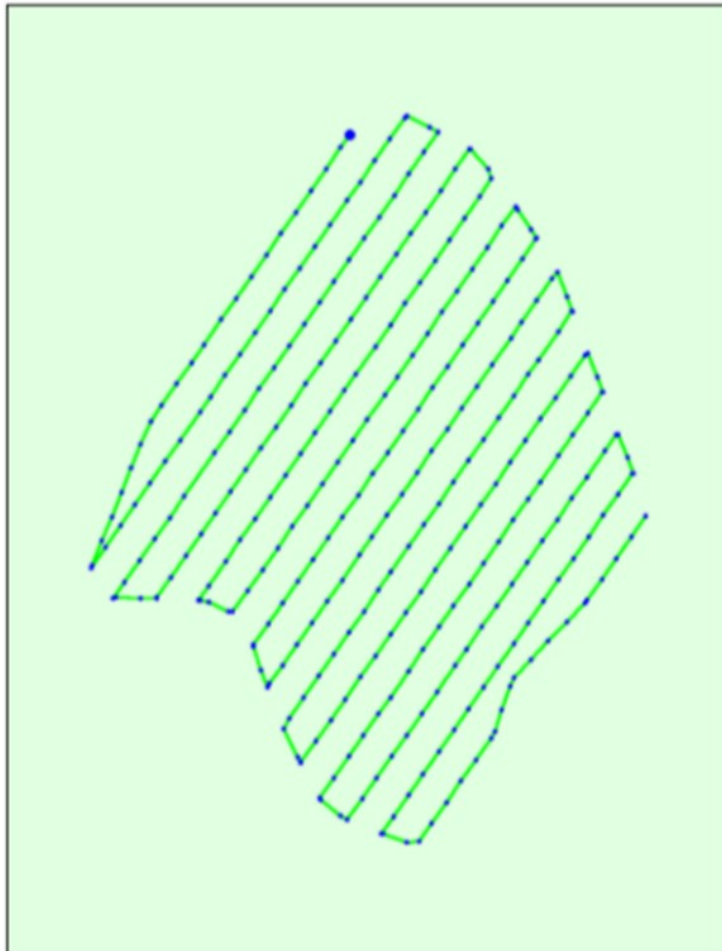
4.5 Ortomosaiikkien tuottaminen ja runkoluvun laskenta

Latasin lentotöiden kuvamateriaalin Pix4D-sovellukseen. Sovellus tuotti jokaisesta lentotyöstä ortomosaiikin ja pintamallin (Kuva 13, s. 25). Tuotteet voi ladata sovelluksesta omaan käyttöön TIFF-muodossa. Ortomosaiikin ja pintamallin tuottamiseen kulunut aika riippui kuvamateriaalin koosta. Keskimäärin näiden kahden tuotteen tuottaminen sovelluksella kesti noin 1–5 tuntia. Itse Pix4D-sovelluksen käyttö on vaivatonta ja käyttöliittymä hyvin selkeä.



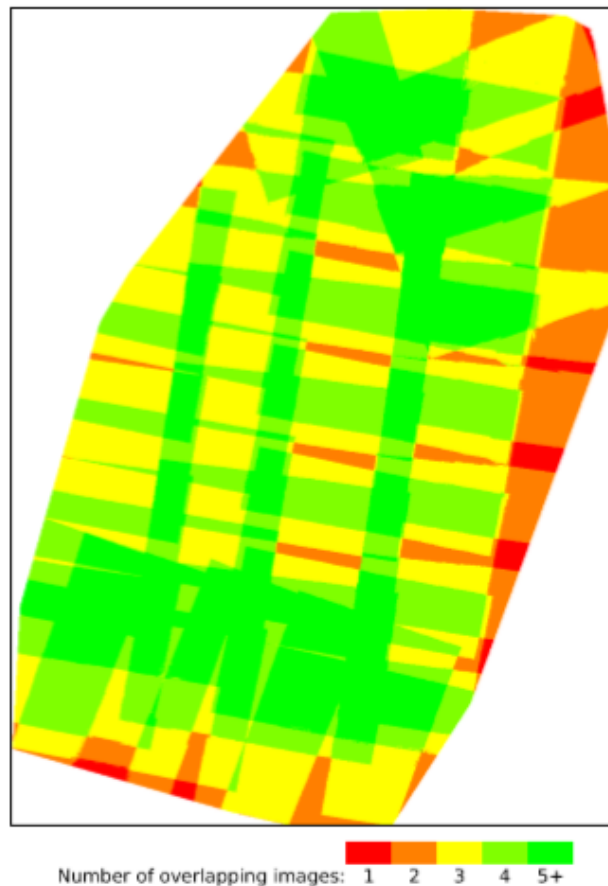
Kuva 13. Työmaa kahden toisen lentotyön ortomosaiikki vasemmalla ja pintamalli oikealla.

Pix4D-sovellus tuotti myös paljon muutakin käyttökelpoista tietoa lentotöistä, kuten teemoitettua sijaintitietoa kuvien kuvauspaikasta. (Kuva 14).



Kuva 14. Työmaa kahden toisen lennon kuvienottoaikat sinisinä pisteinä. Lentoreitti on merkitty kuvaan vihreällä janalla.

Runkoluvun laskentaan valitsin jokaisen työmaan ortomosaiikeista parempilaatuisen. Valinta oli selkeä, sillä lähestulkoon jokainen alle 70 prosentin peittoprosenteilla tuotettu ortomosaiikki oli laadultaan liian huono runkoluvun laskentaan. Näistä ortomosaiikeista puuttui muun muassa kohtia kartoitettavasta alueesta tai ortomosaiikki oli epätarkka. (Kuva 15)



Kuva 15. Työmaa neljän toisen lennon kuvamateriaalista tuotetun ortomosaiikin peittokuvien määrä väriteemoitettuna. Punaisella ja keltaisella merkityissä kohdissa päällekkäin on mennyt vain 1–3 kuvaa. Vihreällä merkityissä kohdissa kuvia on päällekkäin neljä tai enemmän.

Avasin runkoluvun laskentaan valitut T2-luokan taimikoiden ortomosaiikit Arcmap 10.4-ohjelmalla ja liitin ne ETRS TM35FIN tasokoordinaatistoon. Tämän jälkeen digitoin ortomosaiikeille koealalinjat sekä koealat (Kuvat 16 ja 17, s. 27–28). Koealalinjoja käytin helpottamaan koealojen sijoittamista tasaisesti. Koealan koko runkoluvun laskennassa on 10 metriä*10 metriä, eli yksi sadasosahehtaari. Käytin samaa koealamäärää kuin maastotarkastuksessa.

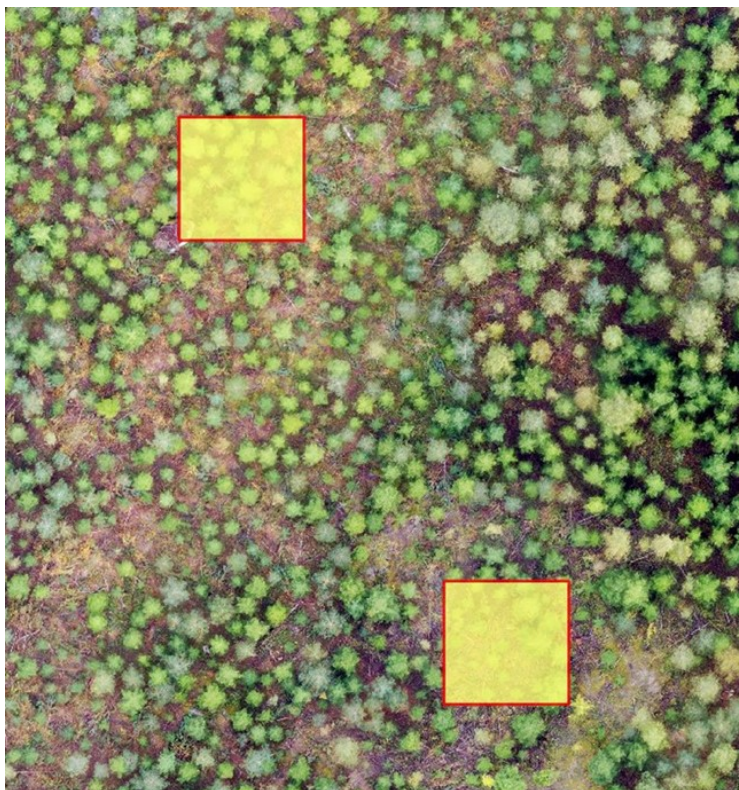
Tämän jälkeen laskin yhteen jokaisen selkeästi erottuvan yksittäisen puunrungon. Rungot laskettiin niiden ortomosaiikilta näkyvän latvuksen perusteella (Kuva 18, s.28). Latvus täytyi erottaa kuvasta tunnistettavasti ja latvuksesta yli puolet täytyi olla koealan sisäpuolella, jotta se otettiin mukaan

laskentaan. Latvuksien laskennan jälkeen ortomosaikin koelajojen latvuksien summa kerrotaan sadalla, jolloin tulokseksi saadaan työmaan keskimääräinen runkoluku hehtaaria kohden. Tarkastelin myös T2-luokan taimikoista muodostetuista ortomosaikkeista visuaalisesti taimikonharvennuksen tasaisuutta.

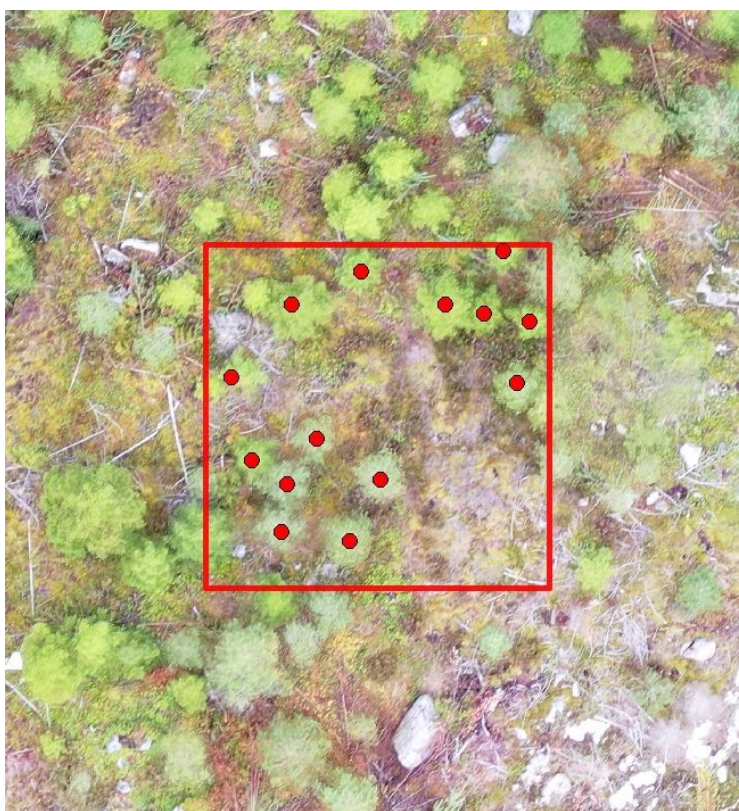
Yritin suorittaa runkoluvun laskennan myös T1-luokan taimikoille samalla tapaa ortomosaikista kuin yllä on mainittu. T1-luokan taimikoissa taimet eivät kuitenkaan erottuneet ortomosaikista riittävän selkeästi, jotta laskenta olisi voitu suorittaa luotettavasti, jonka takia runkoluvun laskentaa ei suoritettu loppuun asti kyseisille taimikoille. Pyrin myös tarkastelemaan visuaalisesti T1-luokan taimikoiden istutustyön jäljen tasaisuutta.



Kuva 16. Ortomosaikille digitoitu koelajinjat punaisella viivalla ja koelat keltapunaisina neliöinä. (Kuva, Laamanen 2019)



Kuva 17. Ortomosaiikille digitoitu kaksi koealaa punakeltaisina neliöinä.
(Kuva, Laamanen 2019)



Kuva 18. Runkoluvun laskentaa ortomosaiikkikuvalta. Jokainen laskettu latvus on merkitty punaisella pisteellä helpottamaan laskentaa.
(Kuva, Laamanen 2019)

5 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Käyttökelpoisuus T2-luokan taimikoiden tarkastuksessa

Manuaalisella lentotyöllä saadaan T2-luokan havupuutaimikoissa hyvin selville, miten tasaisesti taimikonharvennustyö on tehty (Kuva 19). Monitoriin tulevasta videokuvasta saadaan selkeä yleiskuva taimikonharvennuksesta ja pystytään erottamaan jopa yksittäiset kaadetut rungot. Ortomosaiikista pystytään myös toteamaan taimikonharvennuksen tasaisuus hyvin selkeästi (Kuva 20).



Kuva 19. Taimikonharvennuksen tasaisuuden tarkastelua paikan päällä työmaalla. Kuva on UAS-järjestelmän monitoriin tulevaa videokuvaa kohteelta.



Kuva 20. Taimikonharvennuksen tasaisuuden määrittely onnistuu myös ortomosaiikista. Kuvassa kaadetut koivunrungon näkyvät vaaleina vasten tummaa maapohjaa.

5.2 Runkoluvun laskenta ja tarkkuus

Ortomosaiikista, joka on kuvattu 70-80 prosentin peitoilla pystytään laskemaan taimikon runkoluku luotettavasti T2-luokan taimikoissa (Kuva 21). Puunrunkojen latvukset erottuvat tummaa maapohjaa vasten selkeästi. Sen sijaan lehtipuiden runkoluvun laskenta ei onnistu ortomosaiikista (Kuva 22, s. 31).

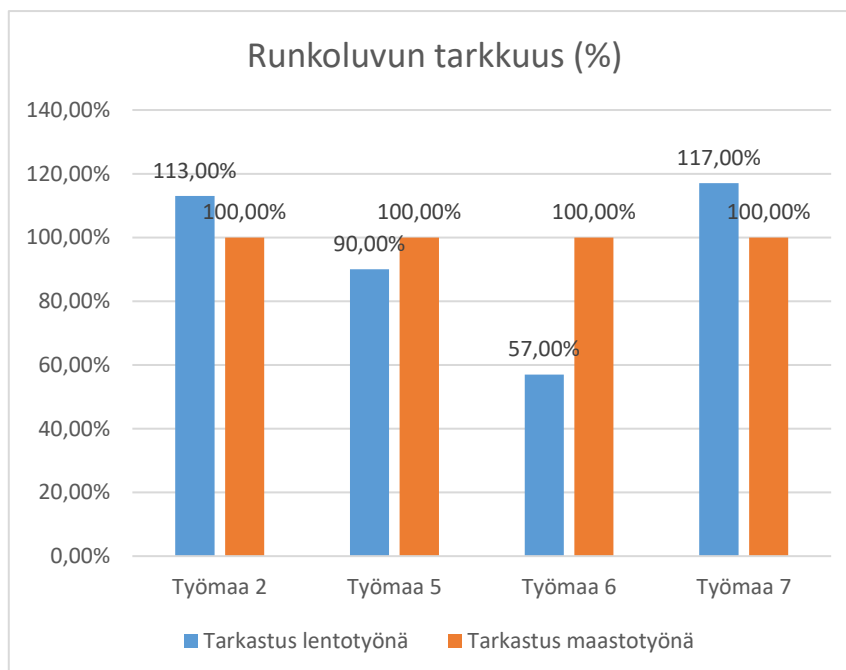
Runkoluvun prosentuaalinen tarkkuus on keskimäärin kohtuullisen hyvä (Kuva 23 ja 24 s. 31–32). Työmaa kahdella ortomosaiikkilaskennan runkoluku on 13 prosenttia (254 runkoa hehtaarilla) suurempi kuin maastotarkastuksen. Työmaalla viisi ortomosaiikkilaskennan runkoluku on 10 prosenttia (200 runkoa hehtaarilla) alhaisempi kuin maastotarkastuksen. Työmaalla kuusi ortomosaiikkilaskennan runkoluku on 43 prosenttia (820 runkoa hehtaarilla) alhaisempi kuin maastotarkastuksen. Tämä johtuu siitä, että työmaalla kuusi pääpuulajina on lehtipuu, joka toi vaikeuksia runkoluvun laskentaan. Työmaalla seitsemän ortomosaiikkilaskennan runkoluku on 17 prosenttia (320 runkoa hehtaarilla) suurempi kuin maastotarkastuksen.



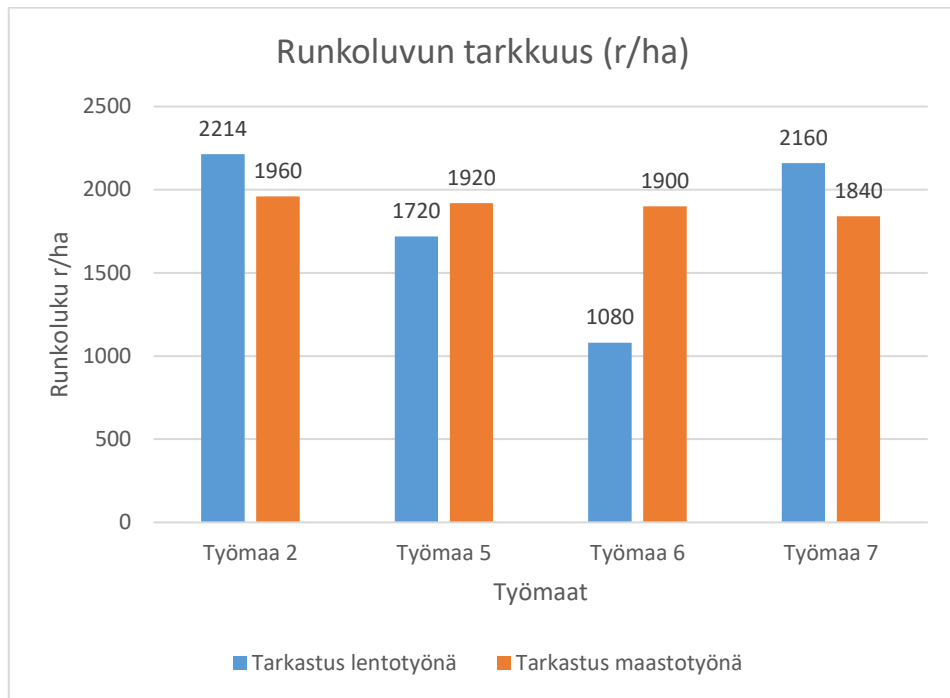
Kuva 21. Runkoluvun laskennassa havupuiden rungot erottuvat ortomosaiikista selkeästi. (Kuva, Laamanen 2019)



Kuva 22. Lehtipuutaimikoiden runkoluvun laskennassa lehtipuiden latvus ei erotu riittävän selkeästi, jotta runkoluvun laskenta ortomosaikista olisi luotettavaa. Kuvassa on tunnistettu luotettavasti vain neljä lehtipuun latvusta. (Kuva, Laamanen 2019)



Kuva 23. Tutkimuksessa runkoluvun tarkkuudeksi maastotyötarkistuksena annettiin arvo 100 prosenttia, johon ortomosaikilta lasketua runkolukua verrataan.



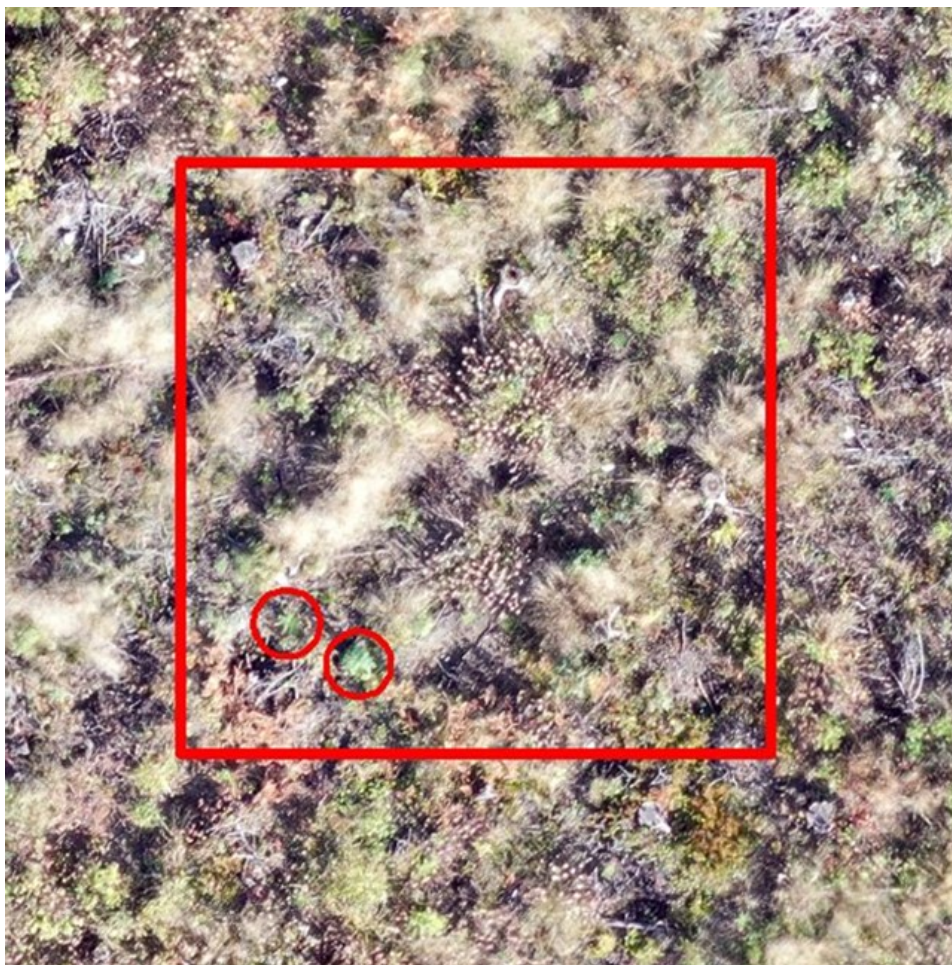
Kuva 24. Runkoluvun tarkkuus työmaittain.

5.3 Käyttökelpoisuus T1-luokan taimikoiden uudistustarkastuksessa

T1-luokan taimikoissa ei pystytä manuaalisella lentotyöllä saamaan luotettavaa tietoa istutustyön tasaisuudesta (Kuva 25). Istutetut taimet eivät erotu UAS-järjestelmän monitoriin tulevasta videokuvasta riittävän selkeästi. Myös ortomosaiikilta taimien erottaminen on hyvin hankalaa ja epäluotettavaa huonon erottuvuuden takia (Kuva 26, s. 33).



Kuva 25. Kuva monitoriin tulevasta videosta T1-luokan taimikon manuaalisessa tarkastelussa.



Kuva 26. T2-luokan taimikosta muodostettu ortomosaiikki. Ortomosaiikilta epävarmasti tunnistetut kaksi kuusen tainta merkitty punaisilla ympyröillä. (Kuva, Laamanen 2019)

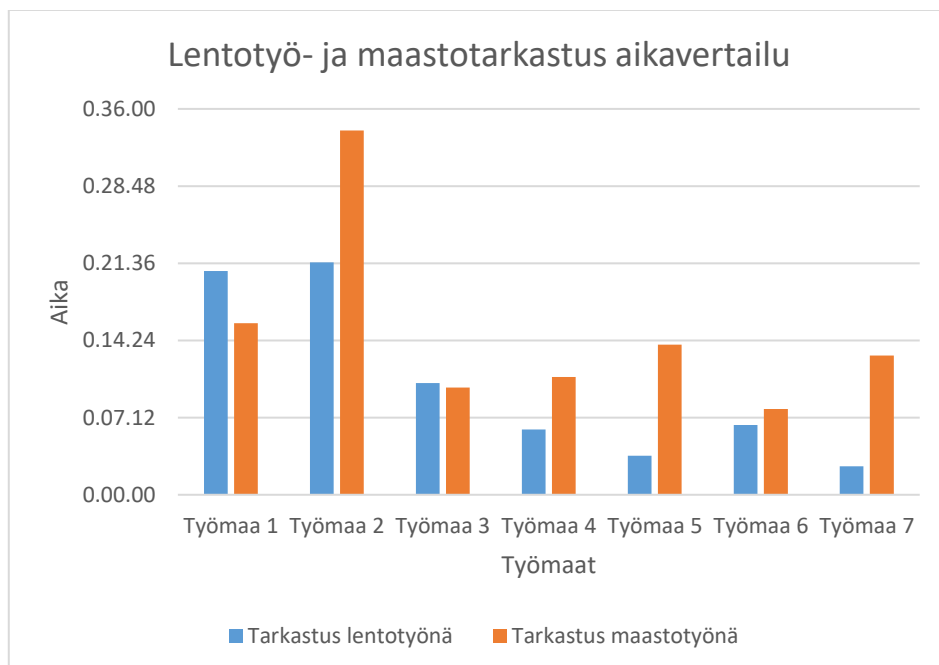
5.4 Tehokkuus taimikontarkastuksessa

Taimikoiden tarkastus UAS-järjestelmällä on ajallisesti nopeampaa viidellä työmaalla seitsemästä (Taulukko 4 ja kuva 27, s. 34). Tehokkainta tarkastus lentotyönä oli työmaalla seitsemän sen ollessa 80 prosenttia nopeampaa kuin maastotarkastus. Sen sijaan ensimmäisellä työmaalla tarkastus lentotyönä oli hitainta sen ollessa 30 prosenttia hitaampaa kuin maastotarkastus. Keskimäärin tarkastus lentotyönä on 51 prosenttia nopeampaa verrattuna maastotarkastukseen.

Työmaalla kaksi tarkastus lentotyönä oli 36 prosenttia nopeampaa kuin maastotarkastus. Työmaalla kolme lentotyötarkastus oli 4 prosenttia hitaampaa kuin maastotarkastus. Työmaalla neljä tarkastus lentotyönä oli 45 prosenttia nopeampaa kuin maastotarkastus. Työmaalla viisi tarkastus lentotyönä oli 74 prosenttia nopeampaa kuin maastotarkastus. Työmaalla kuusi tarkastus lentotyönä oli 19 prosenttia nopeampaa kuin maastotarkastus.

Taulukko 4. Lentotyö- ja maastotarkastuksen tehon vertailu.

Tehon vertailu	Tarkastustyyppi	Kesto (min)	Kuvat/koe alat (kpl)	Ero (min)	Ero (%)
Työmaa 1	Lentotyötarkastus	0.20.52	128	0.04.52	30 %
	Maastotarkastus	0.16.00	6		
Työmaa 2	Lentotyötarkastus	0.21.41	317	0.12.19	-36 %
	Maastotarkastus	0.34.00	7		
Työmaa 3	Lentotyötarkastus	0.10.26	177	0.00.26	4 %
	Maastotarkastus	0.10.00	5		
Työmaa 4	Lentotyötarkastus	0.06.05	42	0.04.55	-45 %
	Maastotarkastus	0.11.00	7		
Työmaa 5	Lentotyötarkastus	0.03.38	41	0.10.22	-74 %
	Maastotarkastus	0.14.00	5		
Työmaa 6	Lentotyötarkastus	0.06.30	117	0.01.30	-19 %
	Maastotarkastus	0.08.00	5		
Työmaa 7	Lentotyötarkastus	0.02.39	68	0.10.21	-80 %
	Maastotarkastus	0.13.00	5		



Kuva 27. Lentotarkastuksen ja maastotarkastuksen tehon vertailu.

6 POHDINTA

6.1 Lainsäädännön vaikutus

Tutkimuksen aikana selvisi, että UAS-järjestelmän käyttäminen viralliseen lennätystyöhön ei olekaan niin yksinkertaista kuin voisi kuvitella. Ensimmäiseksi, lennätystyössä – johon myös taimikontarkastus voidaan lukea kuuluvaksi – toimijalla täytyy olla laaja tietämys miehittämättömästä ilmailusta. Toimijan on tunnettava OPS M1-32 -määräys ja tehtävä lentotyötä määräyksen asettamien vaatimusten mukaisesti. Vaatimukseen kuuluu muun muassa toimijailmoituksen tekeminen Traficomille ja vastuuvakuutuksen hankkiminen kolmansien osapuolien vahinkojen varalle. Niin toimijailmoituksen tekeminen, kuin vastuuvakuutus maksavat. Tämän lisäksi kaikki vakuutusyhtiöt eivät vielä myönnä vastuuvakuutusta miehittämättömään ilmailuun, koska lainsäädäntö hakee vielä muotoaan alan tuoreudesta johtuen.

Toiseksi, nyky-lainsäädännön mukaan lentotyön suorittaminen lähellä ihmisjoukkoa, ihmisjoukon päällä, lentokenttien läheisyydessä tai näköyhteyden ulkopuolella muuttaa niin sanottujen lentotyön valmistelevien toimenpiteiden määrää. Näissä erikoistapauksissa toimijan tulee laatia toimintakuvaus, turvallisuusarviointi ja toimintaohjeistus sekä joissain tapauksissa toimittaa nämä asiakirjat Traficomille ennen lentotyön aloittamista. Tämän takia on syytä miettiä, onko UAS-järjestelmän käyttö pelkäämään taimikontarkastuksessa kannattavaa, kun joissain tapauksissa itse lentotyöhön kohdistuvat vaatimukset ovat kohtuullisen vaativat saavutettuun hyötyyn nähden.

Kansallisen sääntelyn lisäksi heinäkuussa 2020 voimaan tulevat Euroopan unionin yhteiset turvallisuussäännöt lisäävät etukäteen vaadittavien toimenpiteiden määrää. UA-laitteille tulee rekisteröintipakko ja toimijoille vaatimus käydä Traficomien järjestämä kurssi miehittämättömästä ilmailusta. Tällä hetkellä ei ole vielä tietoa, miten Euroopan unionin yhteinen sääntely tulee kokonaisuudessaan vaikuttamaan kansalliseen sääntelyyn. Lentotyön jaottelu tulee muuttamaan kansallisen sääntelyn toiminnan luonteen mukaisesta jaottelusta toiminnan aiheuttaman riskin ja vaatimusten mukaiseen jaotteluun. Tämä epävarma tilanne lainsäädännön kannalta voi väliaikaisesti rajoittaa organisaatioiden UAS-järjestelmien hankintaa sekä tutkimus- ja kehitystoimintaa.

Tässä tutkimuksessa etukäteisvalmistelujen osalta päästiin aika helpolla. Hämeen ammattikorkeakoulu oli tehnyt toimijailmoitukset ja hankkinut vastuuvakuutukset käytetylle UAS-järjestelmälle. Työmaat, joita UAS-järjestelmällä tutkittiin, sijaitsivat alueilla, joissa lentotyötä sai suorittaa OPS M1-32 määräyksen minimivaatimusten mukaisesti.

6.2 Käyttökelpoisuus

Tutkimuksessa saatiin hyvää tietoa UAS-järjestelmän käyttökelpoisuudesta taimikontarkastuksessa. T2-luokan taimikoiden kohdalla työmaalla saadaan haarukoitua taimikonharvennuksen tasaisuutta kohtuullisen hyvin järjestelmän monitorin kautta. Tieto suoritettun työn laajuudesta ja tasaisuudesta on ensisijaisen tärkeä tieto niin urakanantajalle kuin metsänomistajalle.

Jatkokäsitellystä kuvamateriaalista pystytään laskemaan myös kohtuullisen luotettavasti havupuutaimikoiden runkoluku. Ortomosaiikilta lasketuna runkoluvun tarkkuus havupuutaimikoissa oli 10–17 prosentin päässä maastotarkastuksen tuloksesta. Tarkkuutta voidaan pitää sallittuna, kun metsäalalla yleisesti sallittuna vaihteluvälinä puuston määrässä pidetään 0–20 prosentin vaihteluväliä, kun arviointi on metsäammattilaisen tekemä.

Tutkimustulokset ortomosaiikin käytöstä visuaalisessa tarkastelussa ja runkoluvun laskennassa tukevat Maaseutu 2.0 -hankkeen johtopäätöksiä aiheesta. Myös Maaseutu 2.0 -hankkeen johtopäätöksiä oli, että UAS-järjestelmällä tuotettua ortomosaiikkia pystytään käyttämään visuaalisessa tarkastelussa ja runkoluvun määrittelyssä hyvin. (Paananen, 2018)

Sen sijaan lehtipuutaimikoiden runkoluvun laskennassa ero ortomosaiikilta lasketussa ja maastotarkastuksen runkoluvussa oli huomattavasti suurempi, 43 prosenttia. Lehtipuiden laskennasta erityisen hankalaa teki lehtipuiden epämääräisesti ortomosaiikilla näkynyt latvus. Lehtipuutaimikoiden osalta runkoluvun laskentaa tarkasteltiin myös vain yhdellä työmaalla, jonka takia tulos ei ole millään tapaa yleistettävissä ja se vaatisikin huomattavasti laajempaa otantaa.

UAS-järjestelmän käyttökelpoisuus ja potentiaali T1-luokan taimikoiden uudistustarkastuksissa vaikuttaisi olevan hyvin heikko. Vastaistutettuja kuusen taimia ei erottanut järjestelmän monitorin kautta paikan päällä työmaalla. Kuvamateriaalista jatkokäsitellyistä ortomosaiikeista ei myöskään pystynyt tunnistettavasti erottamaan taimia.

T1-luokan taimikoiden kohdalla tuloksiin vaikutti tutkimuksen syksyinen ajankohta, jonka takia taimikot kasvoivat kauttaaltaan heinää. Heinän seasta pieni kuusen taimi on vaikea tunnistaa jopa maastotarkastuksessa. Pienten taimikoiden kohdalla UAS-järjestelmän käyttöä täytyisi testata keväällä ennen maan heinittymistä, jolloin saataisiin todennäköisemmin luopaavampia tuloksia.

Näitä tuloksia pienten taimikoiden osalta tukee Laatu kuva-hankkeen samansuuntaiset johtopäätökset. Hankkeen mukaan UAS-järjestelmän tuoma potentiaalinen hyöty nähdään suurempana varttuneissa taimi-

koissa ja puustoisissa metsissä. Tämän takia tutkimuksia järjestelmän käytöstä pienten taimikoiden tarkastuksiin ei ole tutkittu niin paljon kuin muita sovelluskohteita.

Yleisesti ottaen UAS-järjestelmän luotettavuudessa ilmeni maastotestien aikana joitain ongelmia. Välillä lento-ohjelman suunnittelun pohjana olevat kartat eivät latautuneet kunnolla, joka hidasti työskentelyä huomattavasti. Myös kuvaolosuhteet, kuten sateinen tai liian aurinkoinen sää vaikuttivat lentotyöhön ja tuotetun kuvamateriaalin laatuun. Samanlaisiin johtopäätöksiin päästiin myös Laatu kuva-hankkeessa. Laatu kuva-hankkeen mukaan kuvaolosuhteet sekä lentokorkeus ja kameran asetukset vaikuttavat paljon tuotetun kuvamateriaalin laatuun.

6.3 Tehokkuus

Ajallisesti mitattuna tarkastuksen suorittaminen UAS-järjestelmällä oli tehokkaampaa kuin tarkastus maastotyönä. Vertailtaessa lentotarkastukseen kulunutta aikaa maastotarkastuksen keston saatiin selville, että tarkastus lentotyönä on nopeampaa viidellä työmaalla seitsemästä. Tarkastus lentotyönä on keskimäärin 51 prosenttia nopeampaa kuin maastotarkastus. Tässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että lentotyön valmistelevat toimenpiteet ovat monimutkaisemmat ja niihin kuluu huomattavasti enemmän aikaa kuin maastotarkastuksen valmisteluihin.

Maastotarkastuksessa työmaakartan tulostus ja koealakeppi ovat yksinkertaisuudessaan riittävät valmistelut ja välineet. Valmisteleviin toimenpiteisiin kulunutta aikaa ei ole huomioitu tehokkuuden vertailussa, vaan vertailuaika on puhtaasti lentotarkastukseen tai maastotarkastukseen työmaalla kulunut aika.

Tehokkuuden tuloksia tulkittaessa oleellinen myös huomioon otettava tekijä on ajankohta, jolloin runkolukutulos saadaan. Lentotyötarkastuksessa taimikoiden keskimääräistä runkolukutulosta ei saada ennen kuvamateriaalin jatkokäsittelyä ja sen laskentaa ortomosaiikilta. Niin ortomosaiikkien tuottaminen kuin runkoluvun laskenta vie aikaa. Runkoluvun laskennassa täytyy myös hallita perustaidot laskentaan soveltuvasta paikkatietosovelluksesta. Vasta näiden toimenpiteiden jälkeen taimikoista saadaan tuloksena vain yksi puustotunnus, eli runkoluku, kun sen sijaan maastotarkastuksessa runkolukutulos saadaan heti paikan päällä työmaalla.

Maastotarkastuksessa voidaan työtä suorittaessa samalla havainnoida myös muitakin puustotunnuksia ja laatutekijöitä kuten pituutta, rinnankorkeusläpimittaa, ravinnepuutoksia sekä abioottisia metsätuhoja. Lentotyötarkastuksessa niin puustotunnuksien kuin laatutekijöiden tarkastelu on huomattavasti hankalampaa tai jopa mahdotonta.

Tehokkuuden tuloksiin on voinut vaikuttaa moni tekijä, kuten tutkimusaineiston laatu ja koko. Aineisto sisälsi vain seitsemän työmaata. Työmaiden

pinta-alajakauma oli myös kapeahko. Suurin työmaa oli viisi hehtaaria ja pienin työmaa 0,5 hehtaaria. On selvää, että suuremmalla otannalla ja isommilla työmailla tuloksista olisi voitu saada enemmän yleistettäviä ja järjestelmän tehokkuudesta parempi yleiskuva. Tätä tukee myös Maaseutu 2.0 -hankkeen johtopäätös, että kartoitettavan alueen täytyisi olla noin 10–100 hehtaaria, jotta tarkastustoiminta olisi tehokasta. Jatkotutkimuksen paikka olisikin tutkia tehokkuutta suurilla työmailla.

Lentotyön suoritus aikaan ja ortomosaiikin laatuun on vaikuttanut myös lentotyössä otettujen kuvien määrä. Muuttamalla kuvien määrää saadaan toiminnasta nopeampaa, mutta samalla ortomosaiikin laatu saattaa kärsiä. Tämän takia käytettäessä UAS-järjestelmää taimikontarkastukseen nopeuden ja laadun väliltä on löydettävä kompromissi. Tutkimuksen tuoman kokemuksen ja havaintojen mukaan peittoprosenttien ollessa 70–80 ja lentokorkeuden 80 metrissä saavutetaan riittävän laadukasta kuvamateriaalia jatkokäsittelyyn ja vielä kohtuullisen nopeasti.

Taimikontarkastuksesta UAS-järjestelmällä saataisiin tehokkaampaa ja kannattavampaa, jos runkolukutulos saataisiin heti paikan päällä työmaalla. Runkolukutulos voisi olla mahdollista saada numeerisella tulkinalla. Kun runkolukutulos saataisiin heti paikan päällä työmaalla, aikaa ei kuluisi kartoituslennon jälkeen kuvamateriaaliin lataamiseen tietokoneelle ja analysointiin. Maaseutu 2.0 -hankkeessa runkolukutuloksen numeerista tulkintaa tutkittiin ja siitä saatiin jo lupaavia tuloksia.

Kun ottaa huomioon lentotyöhön vaikuttavat lakisääteiset vaatimukset ja kuvamateriaalin analysointiin ja etukäteisvalmisteluihin kuluneen ajan, vaikuttaa sille, että taimikoiden tarkastukset ovat ainakin vielä toistaiseksi kaikista kannattavinta suorittaa maastotarkastuksena. Tekniikan ja sovelluksien kehittyessä UAS-järjestelmässä on kuitenkin potentiaalia taimikoiden tarkastuksessa.

LÄHTEET

Aito maaseutu Keski-Suomessa. (n.d.). Maaseutu 2.0 -hankkeen tarkoitus. Haettu 9.10.2019 osoitteesta: <https://www.aitomaaseutu.fi/hankkeet/maaseutu-2-0>

Aviamaps. (2019). Haettu 26.11.2019 osoitteesta: <https://aviamaps.com/map?lang=fi#p=5.02/63.97/26.73>

DJI. (2019). DJI:n valmistama Matrice 600 ammattikäytön UA-laite. Haettu 8.12.2019 osoitteesta: <https://store.dji.com/product/matrice-600-pro>

Droneii. (2019). Drone Industry Insights. The Drone Market Report 2019. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://www.droneii.com/project/drone-market-report>

EASA. (2014). Euroopan lentoturvallisuusvirasto EASA:n logo. The official logo of the European Aviation Safety Agency. Haettu 21.10.2019 osoitteesta: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EASA_Logo.png

EASA. (2019a). European Union Aviation Safety Agency. EU wide rules on drones published. Safe, secure and sustainable operation of drones. Haettu 21.10.2019 osoitteesta: <https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/press-releases/eu-wide-rules-drones-published>

EASA. (2019b). European Union Aviation Safety Agency. Civil drones (Unmanned aircraft). Haettu 23.10.2019 osoitteesta: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas>

FAA. (2019). Federal Aviation Administration. Unmanned Aircraft Systems (UAS). Haettu 26.11.2019 osoitteesta: <https://www.faa.gov/uas/>

Haggren, H. (2002). Ortokuvien tuottaminen. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/L7_2005.pdf

Hannola, J. (2019). EASA julkisti EU:n yhteisen droneregulaation - soveltaminen alkaa vuodesta 2020 lähtien. Haettu 23.10.2019 osoitteesta: https://www.lentoposti.fi/uutiset/easa_julkisti_eun_yhteisen_droneregulaation_soveltaminen_alkaa_vuodesta_2020_lahhtien

Härkönen, S. (2019). LaatuKuva-hanke. Power-Point esitys Metsänhoitokohteiden ilmakuvauksella ja kuvatulokinta – kokemuksia LaatuKuva-hankkeesta. Haettu 10.10.2019 osoitteesta: <https://www.slideshare.net/Metsakeskus/metsanhoitokohteiden-ilmakuvaus-ja-kuvatulkinta-kokemuksia-laatukuvahankkeesta>

Ilmailulaki 864. (2014). 1§. Soveltamisala. Haettu 26.11.2019 osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140864>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). Valo ja spektri. Sähkömagneettinen säteily. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://space.fmi.fi/oppimateriaali/envi-sat/valonsade/spektri.html>

Jyväskylän yliopisto. (2019). Puiden terveyttä analysoidaan autonomisilla drooneilla. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://www.jyu.fi/fi/ajankoh-taista/arkisto/2019/09/puiden-terveytta-analysoidaan-autonomisilla-drooneilla>

Kielitoimiston sanakirja. (2018). Julkaisija: kotimaisten kielten keskus ja kielikone Oy. Haettu sana drone. Haettu 14.11.2019 osoitteesta: <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/drone>

Komission delegoitu asetus 945. (2019). Komission delegoitu asetus miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä ja kolmansien maiden miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien käyttäjistä. Haettu 23.10.2019 osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=EN>

Komission täytäntöönpanoasetus 947. (2019). Komission täytäntöönpanoasetus säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä. Haettu 23.10.2019 osoitteesta: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=EN>

Lentoposti. (2018). Drooni-sana lisätään Kielitoimiston sanakirjaan. Haettu 21.10.2019 osoitteesta: https://www.lentoposti.fi/uutiset/drooni_sana_lis_t_n_kielitoimiston_sanakirjaan

Lentoposti. (2019). Aviamaps sai virallisen statuksen – korvaa AIS-palvelun karttatuotteita. Haettu 26.11.2019: http://www.lentoposti.fi/uutiset/aviamaps_sai_virallisen_statuksen_korvaa_ais_palvelun_karttatuotteita

Matti Grönroos. (2010). Gauss-Krüger –karttaprojektio. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/fi/b/b2/GaussKru-ger_Konstruktio.jpg

Metsä Forest. (2019). Metsä Group: Drone-metsäsuunnitelma haastaa perinteisen metsäsuunnittelun. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://www.metsaforest.com/fi/Yritys/Tiedotteet/Pages/Tiedote.aspx?EncryptedId=D4A1DE7C0E797C64&Title=MetsaGroup:Drone-metsasuunnitelmahaastaaperinteisenmetsasuunnittelun>

Metsälaki 1093. (1996). 8§. Uudistamisvelvoitteen täyttäminen. Haettu 11.10.2019 osoitteesta: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/1996/19961093>

Mäkinen, J. (2017). Miehittämättömän ilma-aluksen käyttökohteet metsänhoitoyhdistys Päijät-Hämeen toiminnassa ja toimintakäsikirjan laadinta. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Metsätalouden koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 27.10.2019 osoitteesta: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017122222482>

Paananen, R. (2018). Maaseutu 2.0 loppuseminaari. Power-Point esitys drone-kuvausten käyttökelpoisuudesta metsäkeskuksen toiminnassa. Haettu 10.10.2019 osoitteesta: https://www.aitomaaseutu.fi/media/Maaseutu_loppuseminaari_Paananen_2018_01_24.pdf

Pakarinen, S. (2018). Tykkylumituhojen kartoitus RPAS-laitteistolla. Haettu 26.11.2019 osoitteesta: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018060612762>

Pix4D. (2019). Designing the Image Acquisition Plan. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type#gsctab=0>

Traficom ja Ilmavoimien esikunta. (2019). ASM-Toimintakäsikirja. Ilmatilan joustavan käytön menetelmät. Haettu 25.10.2019 osoitteesta: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/ASM-Toimintak%C3%A4sikirja%201.8.pdf>

Traficom. (2018a). Säädökset ja määräykset. OPS M1-32 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. Haettu 21.10.2019 osoitteesta: <https://www.traficom.fi/fi/saadokset#%3A%22query%22%3A%22%2C%22sort%22%3A%7B%22title%22%3A%22ASC%22%7D%2C%22limit%22%3A%20%2C%22offset%22%3A%20%2C%22filters%22%3A%7B%22s%3A%4d%3B6ksen-tyyppi%22%3A%22initial%22%2C%22ilmailu%22%3A%22%255B161%255D%22%7D%7D>

Traficom. (2018b). Perustelumuistio. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun. Haettu 24.10.2019 osoitteesta: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/OPS_M1-32_2018_perustelumuistio.pdf

Traficom. (2019). Droneinfo.fi. RPAS Lentotyötoiminta. Vaatimukset lentotyötoimintaan. Haettu 24.10.2019 osoitteesta: https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas_lentotyto

Uplift Drones. (2019). Guide to EU UAS Regulations and CAP1789. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://www.upliftdronetraining.com/guide-to-eu-uas-regulations-and-cap1789/>

Vepsäläinen, J. (2001). Tietopaketti kaukokartoituksesta. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: [http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/Kaukokartoituksen_tietopaketti_\(2004\).pdf](http://www.i4.ymparisto.fi/i4/fin/tuotteet/Kaukokartoituksen_tietopaketti_(2004).pdf)

VideoDrone. (2019). VideoDronen valmistamat tuotteet on suunniteltu tehokkaaseen työskentelyyn. Haettu 26.11.2019 osoitteesta: <https://videodrone.fi/videodrone/>

Vinni, P. (2003). Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – mitä on fotogrammetria? Haettu 1.12.2019 osoitteesta: <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K., ym. (2014). *Metsänhoidon suosituks*. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. Metsäkustannus Oy. Haettu 1.12.2019 osoitteesta: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2015/06/Metsanhoidon_suosituks_set_ver3_netti_1709141.pdf

TULOSLOMAKE		Työmaan numero ja muut tiedot:	
Lentojen aloitustoimet (h)	Lentojen kesto (h)	Lentojen lopetustoimet (h)	
Lentojen sivuttaispeitto (%)	Lentojen pitkittäispeitot	Lentokorkeudet (m)	
Kuva otettu k/e	Näköyhteys UA-laitteeseen k/e	Ongelmat yhteyksissä jne	
Maaotarkastuksen aloitustoimet (h)	Maaotarkastus (h)	Maaotarkastus lopetustoimet (h)	
Lämpötila celsiusta	Keliolosuhteet	Lentoasetukset ja muut asetukset	
Huomiot käyttökelpoisuudesta			

Avoimen toimintakategorian alakategoriat

OPERATION		UAS			UAS OPERATOR		REMOTE PILOT	
Subcategory	Operating Area	Class	Mass/KE/Speed	Operating Date Limitations	Registration	Min Age (solo flight)	Competency	
All	<ul style="list-style-type: none"> Max height 120m/400ft (see UAS.OPEN.010 [3] & [4] for specific obstacle and sailplane limits) No dropping of articles No carriage of dangerous goods 	Privately built	<250g & <19m/s			If directly supervising another remote pilot - 16		
		Legacy (placed on market before 1 Jul 22)	<250g					
A1	Fly over uninformed people, but not over crowds	C0 (toy)	<250g & <19m/s	Nil	Only if 'camera' equipped (but not toys)	Nil	Read user manual	
		C0 (not a toy)	<250g & <19m/s			UK - 12 (unless reduced in State)	<ul style="list-style-type: none"> User manual Online Training Online (foundation) Test 	
		C1	<800g or <80J	Nil	Yes	UK - 12 (unless reduced in State)	<ul style="list-style-type: none"> User manual Online Training Online (foundation) Test 	
		A1 Transitional (Article 22)	<500g	Not after 30 Jun 22		UK - 16 (unless reduced in State)	To be defined by the State	
A2	No closer than 30m horizontally from uninformed persons (5m in 'low speed' mode)	C2 (can also be used in A3)	<4kg	Nil		UK - 12 (unless reduced in State)	<ul style="list-style-type: none"> User manual Online Training Online (foundation) Test Self-practical Training A2 CoFC Theoretical Test 	
		A2 Transitional (Article 22)	<2kg	Not after 30 Jun 22	Yes			
A3	<ul style="list-style-type: none"> No uninformed people present within the area of flight No flight within 150m horizontally of residential, commercial, industrial or recreational areas 	C3						
		C4						
		Privately built	<25kg	Nil	Yes	UK - 12 (unless reduced in State)	<ul style="list-style-type: none"> User manual Online Training Online (foundation) Test 	
		Legacy (placed on market before 1 Jul 22)	>2kg to <25kg	Not after 30 Jun 22				

Lähde: haettu 1.12.2019 osoitteesta: <https://www.upliftdronetraining.com/wp-content/uploads/2019/06/CAP1789-Diagrammatic-portrayal-of-the-Open-category-and-subcategories-A1-A2-and-A3.png>