

TYKKYLUMITUHOJEN KARTOITUS RPAS-LAITTEISTOLLA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, metsätalous

Kevät, 2018

Santtu Pakarinen

Metsätalous
Evo

Tekijä	Santtu Pakarinen	Vuosi 2018
Työn nimi	Tykkylumituhojen kartoitus RPAS-laitteistolla	
Työn ohjaaja	Esa Lientola	

TIIVISTELMÄ

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää RPAS-laitteiston soveltuvuus tykkylumituhojen kartoitukseen. Tehtävänä oli kartoittaa Kuhmon alueella sijaitsevilta viideltä metsätilalta kuviokohtaisesti mahdollisten tykkylumituhojen laajuus ja sijainti. Tilojen yhteenlaskettu pinta-ala oli yli 1 000 hehtaaria.

Kartoituksen lisäksi työssä esitellään tehtävään soveltuva esimerkkilaitteisto ja kartoituksen toteuttamiseen tarvittavat ohjelmistot. Kaikki ohjelmistot ovat käyttäjälle ilmaisia, joten kustannustaso pysyy kohtuullisena. Jokaisesta esittelystä ohjelmistosta esitellään perustiedot ja käyttö-tarkoitus kartoitustyössä.

Työssä käydään RPAS-laitteisiin vaikuttava lainsäädäntö läpi niiltä osin kuin se tässä työssä esitellyn esimerkitapauksen osalta on tarpeellista. Lainsäädäntö keskittyy kauko-ohjattaviin ilma-aluksiin eli lentotyössä käytettäviin laitteisiin.

Työn lopuksi esitellään lyhyesti OBIA-menetelmä puustomäärän arviointiin ortokuvista sekä siihen tarvittavat ohjelmistot. Avoimen lähdekoodin ohjelmilla OBIA-menetelmän algoritmit vaativat vielä lisätyötä, jotta puustomäärä saadaan mitattua luotettavasti ja nopeasti.

Työn lopputuloksena voidaan todeta, että RPAS-laitteistoille on selkeästi käyttöä tykkylumituhojen kartoituksessa. Kuvioiden saavutettavuus syvän lumen aikaan ja RPA-laitteen lentonopeus antavat selkeän edun maata pitkin tapahtuvaan tarkastukseen verrattuna. Perinteiseen lentokartoitukseen nähden RPAS-laitteet soveltuvat vain pienempien alueiden kartoitukseen, mutta saatavien kuvien tarkkuus on huomattavasti parempi.

Avainsanat RPAS, Metsätuho, Kaukokartoitus, OBIA
Sivut 50 sivua, joista liitteitä 12 sivua

Forestry
Evo

Author	Santtu Pakarinen	Year 2018
Subject	Surveying crown snow-load damages with an RPAS equipment	
Supervisor	Esa Lientola	

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to study the suitability of an RPAS equipment for surveying damages caused by a crown snow-load. The task was to survey compartment-specifically the extent and location of crown snow-load damages for five forest properties in the Kuhmo area. The total land area of the properties was more than 1 000 hectares.

In addition to surveying, the study introduces an exemplary equipment suitable for the task, as well as the software required for accomplishing the survey. All the pieces of software are free of charge, so the costs remain reasonable. For each software presented, basic information and its purpose of use in the survey work are explained.

The legislation related to RPAS equipment, insofar as it is necessary from the viewpoint of the exemplary case, is presented in the thesis. The legislation focuses on remotely piloted aircraft systems.

The latter part of the thesis provides a brief introduction of the OBIA method for estimating the amount of growing timber from orthophotos, as well as the software required for this. With the open source code software, the algorithms of the OBIA method still require additional work for a reliable and accurate measurement of the amount of timber.

As the primary outcome of the study, it has been shown that RPAS equipment can clearly be used in the survey of crown snow-load damages. The accessibility of the compartments during conditions of deep snow and the flying speed of an RPA device provide an obvious advantage over ground-based survey. Compared to a conventional aerial survey, the RPAS devices are suitable for surveying smaller areas, only, but the accuracy of the images produced is much better.

Keywords RPAS, Forest damages, Remote sensing, OBIA.
Pages 50 pages including appendices 12 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TAVOITE JA TARKOITUS	2
3	TAUSTATIETOA RPAS-LAITTEIDEN KÄYTÖSTÄ	2
4	TUULEN JA LUMEN AIHEUTTAMAT METSÄTUHOT SUOMESSA	3
4.1	Tykkylumi	4
4.2	Myrskytuhot.....	6
4.3	Laki metsätuhojen torjunnasta	6
5	RPAS-LENTOTYÖTOIMINTA	8
5.1	Minimivaatimukset lentotyön aloittamiselle	8
5.2	Minimivaatimukset lentotyölle	9
6	KÄYTETTY LAITTEISTO JA OHJELMISTOT	10
6.1	Yuneec H520	11
6.2	ST16S.....	13
6.3	Datapilot	14
6.4	Mapbox	16
6.5	SafeDrone	16
6.6	Flickr	17
6.7	WebODM	18
7	KARTOITUSTYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS.....	19
7.1	Kartoitettavien kuvioiden valinta.....	21
7.2	Lentosuunnitelmien ja lennätysten tekeminen	21
7.3	Kuvien tarkistus ja jakaminen	25
8	RPAS-TYÖN TEHOKKUUS TUHOJEN KARTOITUKSESSA.....	26
9	PUUSTOMÄÄRÄN ARVIOINTI	29
9.1	Kuvasta perustuva laskenta pinta-alaperustaisesti.....	29
9.2	OBIA	29
10	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	32
	LÄHTEET	34
Liitteet		
Liite 1	OPSM1-32 RPAS –määräysluonnos	
Liite 2	Esimerkkikuva 1	
Liite 3	Esimerkkikuva 2	
Liite 4	Esimerkkikuva 3	

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen myötä erilaisten abioottisten metsätuhojen määrän on arvioitu kasvavan Suomessa. Vakuutuskorvaukset tuhoista ovat vuosittain jo useita miljoonia euroja. Pahimpina tuhovuosina vakuutuskorvausten määrä on ollut jo reilusti yli 50 miljoonaa euroa. Joulukuussa 2017 syntyneiden tykkylumituhojen pinta-ala on tämän hetken tiedon mukaan 16 000 hehtaaria ja tuhoalueilta korjattavan puuston määrä 1,6 miljoonaa kuutiometriä. Mikäli tuhot saadaan paikannettua nopeasti ja helposti, tehostaa se alueiden puuston korjuuta ja säästää sekä aikaa että rahaa.

Tässä työssä kauko-ohjattavasta ilma-aluksesta käytetään lyhennettä RPA (Remotely Piloted Aircraft). Koko ilma-alusjärjestelmästä, johon kuuluu myös esimerkiksi kauko-ohjain ja mahdollisesti maa-asema, käytetään lyhennettä RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).

Olin hankkinut metsäpalveluyritykselleni RPAS-laitteiston ja ryhdyin arvioimaan RPAS-laitteiston käyttöä tykkylumituhojen kartoituksessa työtehtävän myötä. Sain tehtäväkseni kartoittaa Kainuussa sijaitsevien potentiaalisten lumituhoalueiden laajuutta ja tarkkaa sijaintia kuviotasolla. Haasteena kohteessa oli, että lunta oli edelleen paljon, eikä metsikkökuvioille päässyt tarkistamaan mahdollisia tuhoja. Tuhoalueille olisi täytynyt saada metsäkoneet töihin vielä talvikorjuu-aikaan. Tämä on varmasti yleinen ongelma Suomessa, ja RPAS-laitteisto tarjoaa tähän ainakin helpotusta, jos ei koko ongelmaa ratkaise.

RPAS-laitteistolla tehtävästä kartoituksesta jää aina objektiivinen todiste metsätuhon laajuudesta valokuvien ja/tai videoiden muodossa. Teknologian kehittymisen ja uusien ohjelmistojen myötä myös kokonaispuuston ja mahdollisesti tuhoutuneen puuston määrä pystytään laskemaan tarkasti RPAS-laitteistolla tuotetusta aineistosta

Kiinnostuin opinnäytetyön aiheesta eli kauko-ohjattavien ilma-alusten käytöstä metsätalouden toimintaympäristöissä opiskeluiden aikana käytyjen aihepiirin kurssien myötä. RPAS-laitteita käsittelevän moduulin aikana pääsin konkreettisesti testaamaan käytännön sovellutuksia, joihin RPAS-laitteita voidaan käyttää. Eri sovellusalueita ehdittiin käydä vain pintapuolisesti läpi, joten päätin perehtyä aiheeseen tarkemmin itsenäisesti. Olen aiemmin työskennellyt ICT-alalla ja ollut aina kiinnostunut erilaisista uusista teknologioista ja teknisistä laitteista.

2 TYÖN TAVOITE JA TARKOITUS

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten RPAS-laitteisto soveltuu tykkylumen aiheuttamien metsätuhojen kartoitukseen. Selvitettävänä oli, millainen laitteisto tehtävään soveltuu, ja kuinka kustannustehokasta toiminta on verrattuna helikopterilla, lentokoneella tai jalkaisin maastossa tehtävään kartoitustyöhön. Samalla pyrittiin selvittämään, mitkä ovat RPAS-laitteiston edut verrattuna edellä mainittuihin menetelmiin. Selvitystyön ohessa perehdyttiin kattavasti lainsäädäntöön, joka ohjaa Suomessa RPAS-laitteistolla tehtävää työtä.

RPAS-laitteiston soveltuvuutta metsätuhojen kartoitukseen arvioitaessa haluttiin löytää työskentelyyn mahdollisimman hyvät toimintamallit. Tähän vaikuttaa oikeanlaisten ohjelmistojen valinta, joiden avulla voidaan tehostaa toimintaa ja säästää sekä aikaa että kustannuksia. Tehokkuuden kannalta tärkeää oli löytää ohjelmistot, jotka auttavat kartoituslentojen suunnittelussa, toteutuksessa ja tulosten jakamisessa eri sidosryhmille. Lisäksi edullinen hinta oli yhtenä ohjaavana tekijänä.

Työn tarkoituksena on tarjota yksi esimerkkikonaisuus laitteistosta ja ohjelmistoista, jotka ovat laadultaan ja ominaisuuksiltaan riittäviä kartoitustyön aloittamiseen. Ne ovat myös hinnaltaan sellaisia, että kustannustaso ei nouse esimerkiksi metsäpalveluyrittäjälle kovin korkeaksi. Lisäksi esitellään käytettyjen laitteiden ja ohjelmien käyttötarkoitus ja arvioidaan niiden soveltuvuutta lentotyön tekemiseen.

3 TAUSTATIETOA RPAS-LAITTEIDEN KÄYTÖSTÄ

RPAS-laitteista on niiden yleistymisen myötä tehty paljon tutkimuksia ja erilaisia selvityksiä niiden soveltuvuudesta metsäalan eri tarpeisiin. Erilaisista käyttökohteista ja toimintatavoista uutisoidaan jatkuvasti. Digitalisaatio on jo vaikuttanut ja tulee tulevaisuudessa vaikuttamaan metsätalouteen hyvin merkittävästi. ”Digitalisaation mahdollisesti merkittävin vaikutus maa- ja metsätalouteen on toimintatapojen uudistaminen. Työvaiheiden tekeminen uusilla, aikaisempaa paremmilla tavoilla. Periaatteena on, että digitalisaation myötä sellainen työvaihe, joka aikaisemmin tehtiin käsin, tehdään jatkossa automaattisesti tai tietokoneavusteisesti”. (Arrasvuori & Yli-Viitala n.d., 5.)

Tammikuussa 2018 päättyneessä Maaseutu 2.0 -hankkeessa tehtiin useita erilaisia pilotointeja RPAS-laitteiden hyödyntämisestä metsätaloudessa. Hankkeessa oli mukana sekä julkishallinnon edustajia, ohjelmistoyrityksiä, metsäyhtiöitä että metsäalan yrityksiä.

Bitcomp Oy oli hankkeessa testaamassa mm. RPAS-laitteiston mahdollisuuksia myrskytuhojen tunnistamisessa, ja hankkeen aikana syntyneen Eetu Myöhäsen gradutyön tulokset vaikuttavat hyvin lupaavilta. Myöhäsen gradutyössä vertailtiin RPAS-laitteiston ja satelliittikuvan käyttöä myrskytuhoalueen tunnistamiseen. Satelliittiaineistolla päästiin parhaimmillaan noin 58 prosentin tarkkuuteen vertailuaineistoon nähden, kun taas RPAS-laitteiston tuottamalla aineistolla tarkkuus oli n. 69 prosenttia. (Bitcomp 2017.)

Metsäkeskus arvioi Maaseutu 2.0 -hankkeen tulosten perusteella, että RPAS-laitteista olisi heille hyötyä erityisesti taimikoiden maastoinventoinnissa ja puustotulkintakoealojen kartoittamisessa. Tällä hetkellä esim. taimikot tarkistetaan maastoinventointina ja työmäärää olisi tarve keventää resurssien puutteen takia. (Paananen 2018.)

Niko Taaren (2017) opinnäytetyössä arvioitiin tekoälyn soveltuvuutta digitaalisten ilmakuvien analysointiin. Opinnäytetyö syntyi osana Maaseutu 2.0 -hanketta. Taari käytti opinnäytetyössään TensorFlow-ohjelmistoa, joka on Googlen avoimen lähdekoodin koneoppimishelmisto. Ohjelmiston avulla pyrittiin automaattisesti tunnistamaan myrskyvaurioita ilmakuvista. Ohjelmisto perustuu muutosanalyysiin, eli se tarvitsee vertailukuvan ja tuoreen kuvan samalta alueelta, joiden välisiä eroja se analysoi. Opinnäytetyössä päädyttiin mielenkiintoisiin tuloksiin, ja tekoälysovelluksilla tulee varmasti jatkossa olemaan käyttöä metsäalan sovellutuksissa. (Taari 2017, 6, 48–49.)

Konsulttitoimisto Reneco Oy on tehnyt hyvin kattavan selvityksen kauko-ohjattujen ilma-alusten hyödyntämisestä sähköverkoston vianpaikannuksessa. Selvityksessä vertaillaan RPAS-laitteiston mahdollisuuksia korvata tai täydentää tällä hetkellä joko helikopterilla, moottorikelkalla tai jalkaisin tehtäviä vikapaikannuksia. Selvityksessä on arvioitu esimerkkilaskelmin RPAS-laitteiston käytön myötä syntyviä säästöjä. Esimerkkilaskelmat ovat spekulatiivisia, mutta niiden perusteella kannattavuus on todella hyvä. Selvityksessä säästövaikutukseksi investointien jälkeen arvioitiin 0,7–1,5 miljoonaa euroa kymmenen vuoden ajanjaksolla. Säästövaikutus riippuu hankittavan laitteiston kustannuksista. Mielenkiintoista oli, että säästöt lähes kaksinkertaistuivat, kun laitteistona käytettiin keskitason RPAS-laitteita high end -laitteiden sijaan. Keskitason RPAS-laitteen yksikköhinnaksi oli selvityksessä arvioitu 2 000 euroa, kun taas high end -laitteen yksikköhinnaksi oli arvioitu 7 500 euroa. (Tervo 2017, 54–56.)

4 TUULEN JA LUMEN AIHEUTTAMAT METSÄTUHOT SUOMESSA

2017 valmistuneen Valtakunnan metsien 12. inventoinnin (VMI12) mukaan yleisimmät metsätuhojen aiheuttajat Suomessa ovat lumi, tuuli ja hirvieläimet (Luke 2017). Tässä työssä käsiteltävä tuhoalueen kartoitus on

rajattu vain lumen aiheuttamiin metsätuhoihin, mutta tulokset ovat pääosin vertailukelpoisia myös arvioitaessa tuulen aiheuttamien tuhojen kartoitusta. Tuulituhojen osalta liikkuminen maastossa on vuodenajasta riippuen todennäköisesti helpompaa kuin lumituhojen, joten jalkaisin tehtävä maastotarkastus on nopeampaa kuin lumituhojen kartoitus syvän lumen aikaan.

Ilmastonmuutoksen myötä myrskytuhojen yleisyys tulee kasvamaan Suomessa, ja erilaiset sään ääri-ilmiöt yleistyvät (Luke 2016). Ilmastonmuutos vaikuttaa sään lämpenemiseen, joten talvet tulevat tämän hetken ennusteiden mukaan lyhenemään. Samalla routajakso lyhenee, mikä taas vaikuttaa talvella puiden tuulen- ja lumenkestoon (Lehtonen 2017, 9–10).

Tykkylumituhojen määrän on arvioitu yleisesti ottaen vähenevän ilmaston lämpenemisen myötä. Kuitenkin alueilla, joissa tykkylumituhoja esiintyy jo nyt eniten, tuhot tulevat todennäköisesti lisääntymään. (Lehtonen 2017, 10, 12.)

Yksityisten vakuutusyhtiöiden maksamat korvaukset erilaisista metsätuhoista vaihtelevat vuosittain suuresti. Erilaisten lumituhojen aiheuttamia vahinkoja on korvattu vuosittain keskimäärin miljoonalla eurolla. Tuulituhojen korvaussummat ovat vaihdelleet 2000-luvulla yhden ja 51 miljoonan euron välillä. (Lehtonen 2017, 9.) Tässä tulee kuitenkin huomioida, että vain noin puolet yksityismetsistä on vakuutettu, ja niistäkin vain osalla on vakuutus lumituhojen varalle (Skyttä 2018). Yleensä vakuutukset korvaavat vain sellaiset tuhot, joissa on tuhoutunut yli 15 m³ puuta, tai yhtenäisen metsitettävän alueen koko on vähintään 0,5 hehtaaria (Metsäkeskus n.d.c).

4.1 Tykkylumi

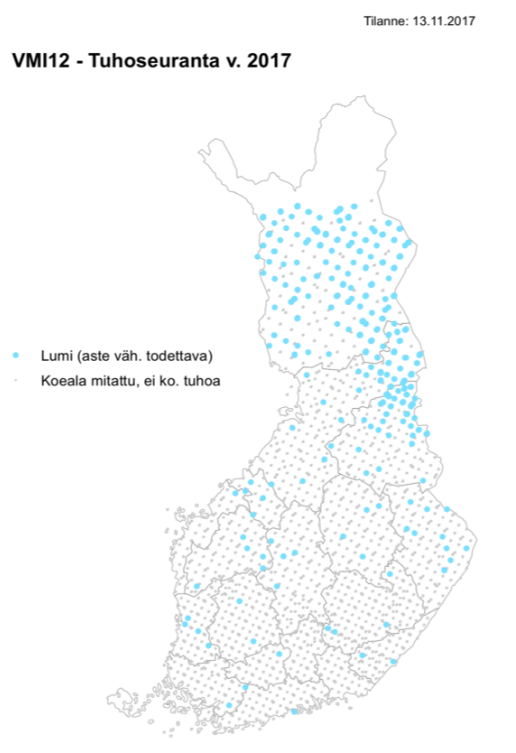
Tykkylumi on puihin tiukasti kiinni tarttunutta lumikertymää, joka syntyy lumihietaleiden lisäksi muusta kiinteässä olomuodossa olevasta nesteestä. Tykkylunta syntyy ja kerääntyy puiden oksiin sekä latvuksiin, kun ilmassa on suuri määrä kosteutta, ja se kiinnittyy puuhun huurtamalla tai kun lumisade on riittävän kostea ja märät hietaleet tarttuvat puihin. Tykkylumi voidaan jakaa kahteen päälajiin, jotka ovat huurretykky ja nuoskatykky. Huurretykky syntyy suurimmilta osin nimensä mukaisesti huurrekertymästä ja huurteen sitomista lumihietaleista sekä jääkiteistä. Nuoskatykky syntyy puolestaan silloin, kun tykkymassasta yli puolet on satanut kosteana sataneesta lumesta tai sen sitomasta ns. normaalista lumesta. Optimaalisin säätila tykkylumen muodostumiselle puiden oksille on noin -3 celsiusasteesta +1 celsiusasteeseen. (Ilmatieteen laitos n.d.b; Lehtonen 2017, 12–13.)

Tykkylumi aiheuttaa puiden kaatumista ja latvojen sekä oksien katkeamista. Tykkylumituhot esiintyvät yleensä metsikkökuvion sisällä, ei reuna-

alueilla, kuten yleensä muut myrskytuhot. Erityisen alttiita lumituhoille ovat pitkään ylitiheänä kasvaneet, juuri harvennetut männiköt, joiden rungot eivät vielä ole ehtineet järeytyä. Tällaisissa metsissä tykkylumen vaikutuksesta rungot joko taipuvat kaarelle tai katkeavat lumitaakan alla. Järeämmille puille tykkylumi aiheuttaa yleensä latvamurtoja ja oksien katkeamista. (Luke 2005.)

Talvella 2017–2018 tykkylumituhoja aiheutui erityisesti Kainuussa, Pohjois-Savossa ja Pohjois-Karjalassa. Suomen Metsäkeskukselle ilmoitettuja hakkuita näiden tuhojen osalta oli toukokuuhun 2018 mennessä ilmoitettu noin 16 000 hehtaaria. Hakkuiden yhteenlaskettu puumäärä on noin 1,6 miljoonaa kuutiometriä. Tuhoalueiden hakkuiden määrät tulevat vielä nousemaan noin 20–30 prosenttia, koska tähän mennessä on kartoitettu pääosin vain Metsähallituksen ja isojen maanomistajien metsätiloilla olevia tuhoja. (Pölkki 2018.)

Metsäkeskuksen (n.d.a) mukaan tykkylumituhon riski on merkittävä nuorissa ja varttuneissa männiköissä, jotka sijaitsevat yli 200 metriä meren pinnan yläpuolella. Luke (2005) taas listaa riskirajaksi 250 metriä. Kuvassa 1 on esitetty VMI12-aineiston pohjalta kerätty kartta lumituhojen esiintymisestä Suomessa.

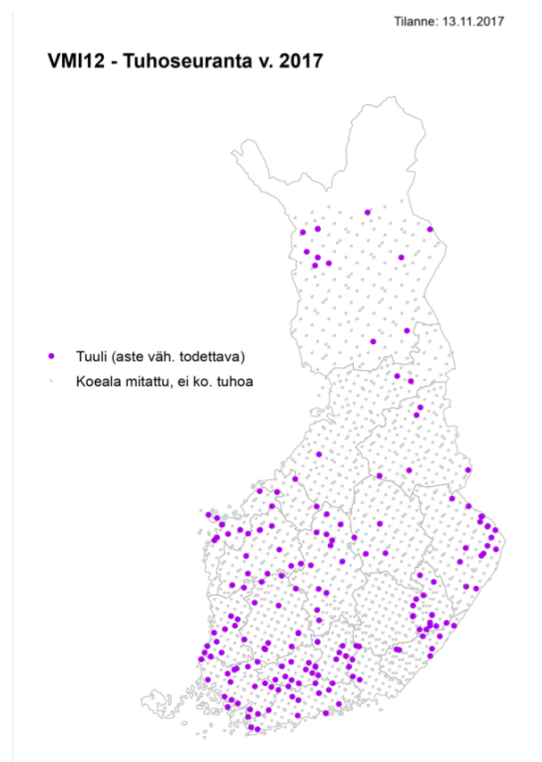


Kuva 1 Lumituhojen esiintyminen Suomessa VMI 12-aineiston mukaan (Luke 2017)

4.2 Myrskytuhot

Myrskytuhoja sattuu eniten metsissä, jotka syystä tai toisesta ovat heikompia kestäämään kovaa tuulta. Juuri harvennetuissa metsissä puiden juuristo ei ole vielä sopeutunut ympäristön muutokseen, joten ne ovat erityisen alttiita myrskytuhoille. Myös sateen pehmittämä maa tai talvella sula maa yhdessä oksiin kertyneen lumikuorman kanssa edesauttavat tuulituhojen syntyä. Tuulen nopeuden noustessa 20–23 metriin sekunnissa alkaa syntyä suuria tuhoja. Heikommat puut kaatuvat jo puuskittaisessa, yli 17 metriä sekunnissa puhaltavassa tuulessa. (Luke 2014.)

Kuvassa 2 on esitetty VMI12-aineiston pohjalta tehty kartta tuulituhojen esiintymisestä Suomessa. Kun lumituhot keskittyvät Pohjois- ja Koillis-Suomeen, esiintyy myrskytuhoja eniten Etelä-Suomen alueella.



Kuva 2 Tuulituhojen esiintyminen Suomessa VMI 12 aineiston mukaan (Luke 2017)

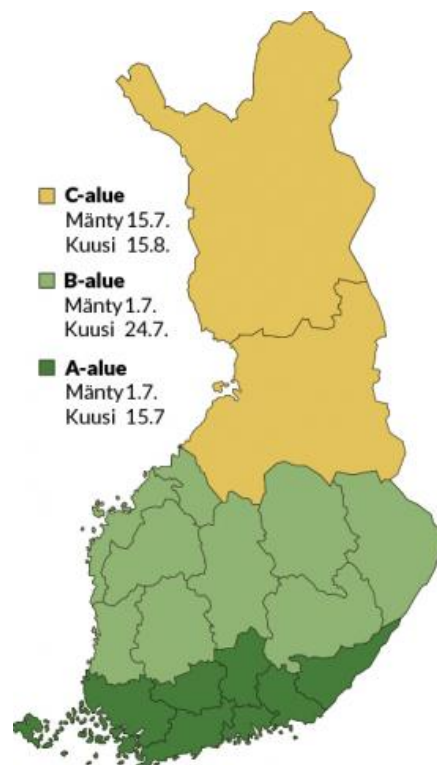
Myrskytuhojen torjunnassa tulee huomioida, ettei tehdä liian voimakkaita harvennuksia, jolloin jäljelle jäävä puusto on erityisen herkkä myrskytuholle. Mikäli metsikkökuviot ovat itä-länsi-suuntaisia, tulisi hakkuut aloittaa itäreunasta. Puiden juuristot sopeutuvat vallitsevaan ympäristöön muutamassa vuodessa ja tuhoriski palautuu ennen hakkuuta vallitsevalle tasolle. (Luke 2014.)

4.3 Laki metsätuhojen torjunnasta

Vuonna 2014 uudistettiin metsälaki, ja samalla uudistui myös laki metsätuhojen torjunnasta, joka on säädetty vähentämään esim. puuvarastoista

ja myrskytuhoista johtuvaa kasvavalle puustolle aiheutuvaa hyönteis- ja sienituhojen riskiä. Laki koskee ainoastaan havupuuta ja se rajoittaa tuoreen havupuun varastointia metsässä. Se myös määrittää, milloin tuore puutavara on viimeistään korjattava pois metsästä. (Metsäkeskus n.d.b.)

Suomi on metsätuholain osalta jaettu kolmeen alueeseen: A, B ja C. Kuvassa 3 on esitetty alueet ja ajat, mihin mennessä tuore havupuutavara on korjattava pois.



Kuva 3 Suomi on jaettu kolmeen alueeseen, jotka määrittävät, milloin tuore puutavara on korjattava pois metsistä (Metsäkeskus n.d.d)

Laki koskee myös vahingoittunutta puuta. Myrsky- tai lumituhojen seurauksena vaurioitunut puu on korjattava aikarajojen puitteissa pois, jos tyviläpimitaltaan yli 10 senttimetristä kuusta on yli 10 kuutiometriä hehtaarilla tai vastaavan kokoista mäntyä 20 kuutiota hehtaarilla. Laki velvoittaa keräämään vain rajojen yli menevän osan pois, joten luonnon monimuotoisuuden kannalta osa tuhojen seurauksena kuolleista puista kannattaa jättää metsään lahoppuiksi. (Metsäkeskus n.d.d.)

5 RPAS-LENTOTYÖTOIMINTA

Suomessa RPA-laitteet jaetaan kahteen eri ryhmään sen mukaan, millaiseen käyttöön niitä käytetään: lennokkeihin ja kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin. Lennokkeja käytetään harrastustoimintaan, ja kauko-ohjatut ilma-alukset ovat työkäytössä olevia laitteita. Sama laite voi siis olla sekä lennokka että kauko-ohjattu ilma-alus riippuen sen käyttötarkoituksesta. Täysin selkeää rajaa näiden kahden määritelmän välille ei Trafin toimesta ole tehty. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että RPA-laite on kauko-ohjattu ilma-alus, jos sen lennättämisestä maksetaan korvaus. (Trafi n.d.)

Hankalaksi rajanveto tulee niissä tilanteissa, joissa RPA-laitteella on lennetty harrastustarkoituksessa ja otettu samalla valokuvia tai kuvattu videoita, jotka myydään jälkikäteen toiselle osapuolelle tai niitä käytetään esim. markkinointitarkoitukseen. Mikäli nämä kuvat tai videot olisi etukäteen tilattu, määritettäisiin kuvaukseen käytetty RPA-laite kauko-ohjatuksi ilma-alukseksi. Jos työtä ei ole tilattu, lasketaan satunnaisissa kuvien tai videoiden myyntitilanteissa RPA-laite lennokiksi. Lisäksi tulee huomioida, että esim. omassa metsässä tehty kartoituslento lasketaan Trafin mukaan lentotyöksi, joten silloin kyseessä on kauko-ohjattu ilma-alus, vaikka siitä ei suoranaista rahallista korvausta saadakaan. (Trafi n.d.; Varpula 2016.)

Rajanveto kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin välillä on tärkeää, koska niitä koskevat osittain eri määräykset ja säännöt. Molempien laitteiden lennättäminen lasketaan ilmailuksi, mutta lennokin lennättämisestä ei tarvitse tehdä esimerkiksi toimijailmoitusta, lennättäjältä ei edellytetä 18 vuoden ikärajaa, eikä lennokka tarvitse vastuuvakuutusta kuten kauko-ohjattujen ilma-alusten kohdalla. Myös RPAS-laitteiden painorajat vaihtelevat sen mukaan, onko kyseessä lennokka vai kauko-ohjattu ilma-alus. (Trafi n.d.)

Tässä työssä keskitytään vain kauko-ohjattuihin ilma-aluksiin ja niiden käyttöä ohjaaviin määräyksiin ja lainsäädäntöön. Lainsäädäntö esitellään tämän hetken minimivaatimusten mukaan, koska se on muuttumassa. Uusi lakiluonnos (Liite 1) on tämän työn kirjoitushetkellä lausuntokierroksella. Tarkemmin tämän hetkisiä määräyksiä ei ole tässä järkevää esittää, koska tieto saattaa vanhentua hyvin nopeasti. Ajantasainen lainsäädäntö tulee aina tarkistaa ja varmistaa, että oma toiminta on lainmukaista.

5.1 Minimivaatimukset lentotyön aloittamiselle

Jokaisen lentotyötä tekevän toimijan on tehtävä toimijailmoitus Trafille. Ilmoituksesta tulee selvittää vähintään seuraavat tiedot:

- toimijan yhteystiedot ja toiminnasta vastaavan henkilön tiedot
- käytettävän ilma-aluksen perustiedot kuten merkki, malli ja maksimilentoonlähtömassa

- ilma-aluksen suunniteltu käyttötarkoitus
- tiedot siitä, aiotaanko lentotoimintaa tehdä tiheään asutuksen yllä, väkijoukon yllä tai näköyhteyden ulkopuolella.

Ilmoitetut tiedot löytyvät Trafín RPAS-haku -palvelusta, josta voi myös etsiä eri alueiden toimijoita (kuva 4). (Trafi 2017c.)

Haku		Tyhjennä hakukentät	
Yrityksen tiedot		Ilma-alusta on tarkoitus käyttää seuraavissa tehtävissä	
Yrityksen nimi:	Santun Metsäpalvelu	• Sähkölinjojen tarkastus	
www-osoite:	www.santun.fi	• Kaasulinjojen tarkastus	
Sähköpostiosoite:	santtu@santun.fi	• Mastojen tai tuulivoimaloiden tarkastukset	
Puhelinnumero:	0400355466	• Rakennusten tai kattojen tarkastukset	
Katuosoite:	Laitamontie 5	• Muiden rakenteiden (esim siltojen) tarkastukset	
Postinumero:	35100	• Maatalouteen liittyvät työt	
Postitoimipaikka:	Orivesi	• Metsätalouteen tai metsänhoitoon liittyvät tehtävät	
Maa:	Suomi	• Kartoitus	
		• Etsintä- ja pelastuspalvelu	
		• Lämpökameraa edellyttävät tehtävät	

Kuva 4 Trafín toimijahaun tiedot ja esimerkki toimijailmoitukseen tarvittavista tiedoista. Lisäksi tulee ilmoittaa ilma-aluksen tiedot ja kuvaus lentotoiminnasta, jotka eivät näy toimijahaun listauksessa.

Lentotyötä tekevän toimijan tulee hakea toiminnalleen vastuuvakuutus, joka korvaa kolmansille osapuolille tapahtuneet vahingot ja täyttää Euroopan ilmailulainsäädännössä määritetyn vakuutusasetus (EY) 785/2004 asettamat vaatimukset. Vakuutuksen tulee olla voimassa ennen ensimmäistä lennätystä. (Trafi 2017e.)

5.2 Minimivaatimukset lentotyölle

Lennätyksen tulee perustua näköyhteyteen (VLOS, Visual Line of Sight), jos erillistä ilmatilavarausta ei ole tehty. Ilman näköyhteyttä tapahtuva lentotoiminta (BVLOS, Beyond Visual Line of Sight) tarvitsee ilmatilavaruuden, joka tulee tehdä vähintään kahdeksan viikkoa ennen lennätystä. Ilmatilavaraus on voimassa aina vuoden kerrallaan, ja tällä hetkellä ilmatilavaruuden tekeminen maksaa 320 euroa. Varattu ilmatila tulee aktivoida käyttöön vähintään vuorokautta ennen BVLOS-lennätystä. (Trafi 2018.)

Ilma-alukseen tulee merkitä esimerkiksi tarralla tiedot, mistä selviää lentotoiminnasta vastuullisen henkilön nimi ja yhteystiedot (Trafi 2017e). Kuvassa 5 (s. 10) on esimerkki tiedoista, jotka ovat riittävät.



Kuva 5 Jokainen käytettävä ilma-alus tulee merkitä lennättäjän yhteystiedoilla.

Lentotoiminnasta on pidettävä lentopäiväkirjaa, jonka toteutustapa on vapaa, eli päiväkirja voi olla joko sähköinen tai paperilla oleva versio. Lentopäiväkirjasta tulee selvittää vähintään seuraavat tiedot:

- lennätyksen päivämäärä
- lennätyspaikka
- ilma-aluksen päällikkö
- ilma-aluksen valmistaja ja malli
- lennätyksen tai lennätysarjan alkamis- ja päättymisaika
- onko kyseessä:
 - suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS)
 - suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS)
- lennätystehtävän luonne ja maininta mahdollisesta kauko-ohjaustähystäjän käytöstä.

Lentopäiväkirjan tietoja tulee säilyttää vähintään kolme vuotta. (Trafi 2017e.)

Tarkemmat määräykset ja asetukset voi lukea tämän työn liitteenä (Liite 1) olevasta dokumentista OPSM1-32 RPAS -määräysluonnos. Määräysluonnoksessa on merkitty sinisellä tekstillä ehdotetut muutokset nykyiseen lainsäädäntöön. Suuria muutoksia ei ole tulossa, mutta esimerkiksi maksimilentokorkeuden on uudessa määräyksessä ehdotettu olevan 120 metriä nykyisen 150 metrin sijaan. Lisäksi ilma-aluksen painorajoihin on tulossa muutoksia. Esimerkiksi tiheään asutun alueen yläpuolella saisi tulevaisuudessa lentää alle kolme kilogrammaa painavalla ilma-aluksella ilman, että lennosta on tehty turvallisuusarvio. Tällä hetkellä turvallisuusarvio tulee tehdä aina, kun lennetään tiheään asutun alueen yläpuolella.

6 KÄYTETTY LAITTEISTO JA OHJELMISTOT

Ohjaavana teemana laitteistohankinnoissa oli, että niiden laatu ja ominaisuudet ovat riittävät ammattikäyttöön, mutta hinta pysyy kuitenkin kohtuullisena. Kustannukset pyrittiin pitämään sellaisina, että kuka tahansa metsäpalveluyrittäjä tai metsätaloutta tekevä toimija voisi tarvittavat lait-

teistot hankkia. Tästä syystä esimerkiksi ohjelmistojen suhteen päädyttiin käyttämään joko avoimen lähdekoodin ohjelmistoja tai ilmaisia, kaikkien saatavilla olevia ohjelmistoja.

Iso osa tämän työn ajasta meni opiskeltaessa eri ohjelmistojen käyttöä. Asennuspaketteja ei kaikkiin käytettyihin ohjelmistoihin opinnäytetyön tekohetkellä ollut saatavilla, ja esimerkiksi luvussa 6.7 esiteltävän WebODM-ohjelmiston käyttöönotto aiheutti haasteita. Kaikki asennustyö MacOS:lle tuli tehdä komentorivipohjaisesti. WebODM:n suurena etuna on aktiivinen kehittäjäyhteisö ja hyvin toimiva käyttäjäfoorumi, josta saa ongelmatilanteissa haettavaa apua. Tällä hetkellä WebODM:stä on saatavissa maksullinen asennuspaketti myös MacOS:lle. (WebODM n.d.b.)

Ainoat hankintakustannukset tässä työssä käytettyihin laitteistoihin tai ohjelmistoihin syntyivät RPAS-laitteiston ja sen lisälaitteiden hankinnosta. Kustannuksissa tulee huomioida, että esimerkiksi riittävän tehokas tietokone on pakollinen laajempien kartoitus-, paikkatieto- ja fotogrammetristen ohjelmistojen käyttöön. Tällainen oli jo olemassa, joten sen kustannuksia ei laskelmissa ole huomioitu.

Kaikkien tässä työssä käytettyjen laitteiden hinnat on esitetty taulukossa 1. Kokonaiskustannukset jäävät laitteistolla ja seuraavissa luvuissa esitellyillä ohjelmistoilla vielä kohtuullisiksi. Laitteisto ja ohjelmistot ovat sellaisia, että niiden kanssa voidaan tehdä kaupallista lentotyötä. Avoimen lähdekoodin ohjelmistot vaativat melko vahvaa tietoteknistä osaamista, joten se saattaa aiheuttaa joillekin potentiaalisille käyttäjille haasteita.

Taulukko 1 Laitteiston hankintakustannukset. Hinnat kevään 2018 hintoja Suomessa (Hobbylinna n.d.)

Laite	Hinta alv 0%	Hinta alv 24%
Yuneec H520	1 330,65 €	1 650,00 €
Yuneec E90	959,68 €	1 190,00 €
Lisäakut x 2	304,84 €	378,00 €
Kuljetuslaukku/reppu	79,84 €	99,00 €
Yuneec DY5-laturi	128,23 €	159,00 €
yht	2 803,23 €	3 476,00 €

6.1 Yuneec H520

Kuvassa 6 (s. 12) on esitetty Yuneecin H520-heksakopteri eli kuusiroottorinen RPA-laite. H520 on Yuneecin ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tarkoitettu RPA-laite, joka on suunniteltu erityisesti kartoitukseen, teollisuuden tarkistuksiin ja turvallisuusalan sovellutuksiin. H520 on kirkkaan oranssin värinen, jotta sen näkyvyys olisi mahdollisimman hyvä. Heksakopterin etuna yleisempään nelikopteriin verrattuna on parempi tuu-

lenkesto ja lentomahdollisuus vielä senkin jälkeen, mikäli yksi moottori/propelli on vaurioitunut. (Yuneec 2017a.)



Kuva 6 Yuneec H520 drone varustettuna E90 kameralla (Yuneec 2017a)

Yuneec H520 on saatavilla tällä hetkellä kolmella eri hyötykuormalla. E90-kamera on tarkoitettu kartoitukseen ja video- sekä valokuvaukseen. E50-kamera on suunniteltu erityisesti teollisuuden tarkistuksiin. Siinä on pidempi polttoväli verrattuna E90-kameraan, joten kohteesta saadaan otettua kuvat kauempaa. CGOET-kamera on infrapunalla varustettu lämpökamera, joka soveltuu hyvin myös hämäräkuvaukseen. CGOET-kamera ei ole radiometrinen lämpökamera, joten sen esittämät lämpötilaerot ovat suhteellisia lämpötiloja. (Yuneec 2017a.)

Tärkeimmät tekniset tiedot H520 RPA -laitteesta ja eri hyötykuormista on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2 Yuneec H520:n tärkeimmät tekniset ominaisuudet ja eri hyötykuormat

	Ilman kameraa	e90	e50	CGOET
Paino, g	1633	1983	1908	1911
Lentoaika, min		25	28	25
Valokuvan resoluutio, MP		20	12	2
Videokuvan resoluutio		4k	4k	1080p
Kennon koko		1"	1/2,3"	1/3"
Polttoväli, mm (kinovastaava)		23	40	23
Käyttölämpötila, C	-10 - 40			
Maksimi lentonopeus, m/s	17			
Maksimi nousunopeus, m/s	4			
Maksimi laskeutumisnopeus, m/s	2,5			
Paikannusjärjestelmä	GPS + GALILEO + GLONASS			

H520 on varustettu ylös nousevilla laskutelineillä, ja kaikki kamerat eli hyötykuormat voivat kääntyä täydet 360 astetta pysty akselinsa ympäri. Ylös nousevat laskutelineet on havaittu käytännössä lennätystä helpottavaksi asiaksi esimerkiksi tilanteissa, joissa pitää kuvata sivulla olevia asioita kuten sähkölinjoja. Tällöin itse RPA-laite voidaan pitää aina samassa lentosuunnassa ja kääntää kamera kuvaamaan sivulta. Tämä ominaisuus

helpottaa laitteen hallintaa verraten laitteeseen, jossa on kiinteät laskeutumistelineet.

Yksi Yuneec H520:n suurimmista eduista ammattikäyttöä ja monipuolisuutta ajatellen on valmistajan tarjoama SDK (Software Development Kit) eli ohjelmistojen kehitysympäristö. SDK:n avulla käyttäjä pääsee itse muokkaamaan RPA-laitteen ohjelmistoa, jolloin on mahdollista suunnitella esim. sovelluskohtaisia toimintoja toteutettaviksi, ja ohjelmoida RPA-laitte toimimaan toivotulla tavalla eri käyttötilanteissa (Yuneec n.d.). Kuvassa 7 on esitetty kaikki tekniset alueet, joihin käyttäjän on mahdollista päästä käsiksi ja suunnitella esim. omia ohjelmistoja datan keräämiseen.



Kuva 7 H520:n alueet, joihin on mahdollista päästä käsiksi SDK:n kautta (Yuneec n.d.)

H520:n lennonhallintaohjelmisto perustuu avoimen lähdekoodin PX4 Pro -ohjelmistoon, ja lentokontrolleri on PixHawkin valmistama (Yuneec 2017a; PX4 n.d.). Molemmat edellä mainitut ovat yleisessä käytössä sekä RPAS-harrastajilla että -ammattilaisilla. PX4 on osa DroneCode-projektia, jonka jäseninä ovat mm. Intel, 3DR, Qualcomm ja Yuneec (DroneCode n.d.). PX4 on hyvin dokumentoitu ohjelmisto, ja sille on saatavissa laaja käyttäjätuki (PX4 n.d.). Laaja käyttäjäpohja ja avoin lähdekoodi luovat kattavan alustan erilaisille kustomoiduille sovelluksille eri käyttötilanteissa.

6.2 ST16S

Kuvassa 8 (s. 14) on ST16S-kauko-ohjain, joka tulee Yuneec H520:n mukana. Kauko-ohjaimen on integroitu seitsemän tuuman Android-tabletti. Ohjaimen on asennettu valmiiksi kaikki tarvittavat ohjelmistot, eli päivitys- ja lennon suunnitteluohjelmistot ovat valmiina. ST16S-ohjaimessa on mahdollista käyttää sekä Yuneecin omaa DataPilot-ohjelmistoa että Pix4DCapture-ohjelmistoa (Yuneec 2018).



Kuva 8 ST16S kauko-ohjain, jossa on avoinna Yuneecin DataPilot-lennonhallintaohjelmisto (Yuneec 2018)

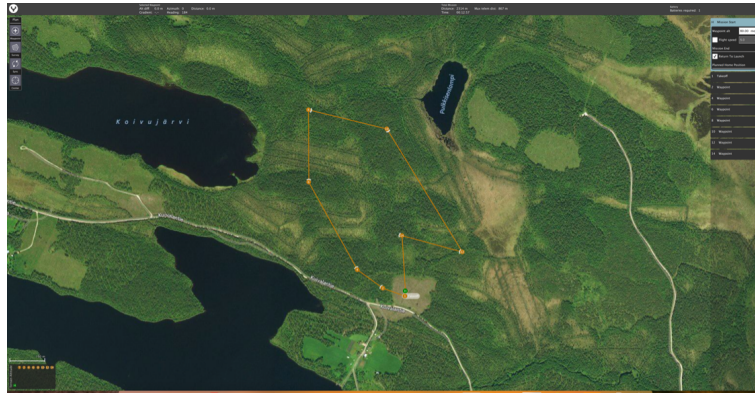
Valmistajan ilmoituksen mukaan lähettimen kantama on optimiolosuhteissa 1,6 kilometriä (Yuneec 2017c). Tämän työn puitteissa pisin etäisyys lähettimen ja RPA-laitteen välillä oli noin yksi kilometri, jolloin videoyhteys toimi edelleen virheettömästi ja RPA oli koko ajan hallinnassa.

Laitteistossa on turvaominaisuus, joka lennättää RPA-laitteen takaisin lähtöpaikalle, jos yhteys kauko-ohjaimen katkeaa kesken lennon eikä yhteyttä saada lennon aikana enää muodostettua uudelleen. Mikäli RPA-laitte on suorittamassa ohjelmoitua tehtävää, esimerkiksi kartoitusta, suorittaa se yhteyden katketessa tehtävän loppuun ja palaa sitten lähtöpaikalle. Turvaominaisuuksia on mahdollista muokata ST16S-ohjaimessa olevan DataPilot-ohjelmiston advanced-tilassa. Advanced-tilassa pääsee kattavasti käsiksi RPA-laitteen eri asetuksiin ja mm. antureiden kalibrointiin. Tässä tulee kuitenkin alleviivata käyttäjän vastuuta tekemiinsä muutoksiin. Takuu ei kata mahdollisia vahinkoja, jotka johtuvat advanced-tilassa tehdyistä muutoksista.

6.3 Datapilot

DataPilot on Yuneecin oma lennonsuunnitteluohjelmisto, joka toimii sekä tietokoneella että ST16S-ohjaimessa. Tietokoneella käytettynä käytössä on vain lennonsuunnitteluun ja lokitietojen lataukseen tarkoitettuja ominaisuuksia. Ohjaimella käytettynä päästään DataPilotin välityksellä käsiksi myös RPA-laitteen ominaisuuksiin. (Yuneec 2017b.)

DataPilotin (kuva 9, s. 15) avulla voidaan suunnitella erilaisia lentoreittejä ja ohjelmoida RPA-laitte tekemään halutut asiat eri pisteissä. DataPilotissa on kaksi eri suunnittelutilaa: Waypoint ja Survey.



Kuva 9 DataPilot ohjelmisto, johon on tehty Waypoint-ominaisuudella lentosuunnitelma. Vasemmassa yläkulmassa näkyy eri suunnittelutilat. Oikealla näkyy valikko, jossa voidaan määrittää jokaiselle lentopisteelle oma toiminnallisuus ja lentokorkeus.

Waypoint tarkoittaa yksittäisiä reittipisteitä, joiden kautta RPA-laitteen halutaan lentävän. Jokaiselle reittipisteelle voidaan määrittää lentokorkeus ja halutut toiminnot. Lentokorkeus voidaan määrittää joko suhteessa lähtöpisteeseen tai todelliseen korkeuteen reittipisteessä.

Survey-tilassa määritetään kartoitettava alue, joka halutaan kuvata esimerkiksi ortomosaiikin tekoa varten. Ortomosaiikki on alueesta luotava paikkatietoon perustuva kuva, joka tehdään yhdistämällä useita orto- eli ilmakuvia. Niistä on poistettu maaston korkeusmallin aiheuttamat vieraat, ja ne on oikaistu käytettävään karttaprojektioon (ArcGIS n.d.).

Survey-tilassa voidaan lentää kartoitettava alue joko yhdensuuntaisesti, jolloin saadaan tehtyä esimerkiksi tarkka ortomosaiikki tai kahdensuuntaisesti siten, että toinen lennätys menee 90 asteen kulmassa ensimmäiseen lennätykseen nähden. Tätä lentotapaa tarvitaan, jos kohteesta halutaan luoda esimerkiksi 3D-malli. Kuvassa 10 on esitetty Survey-tilassa tehty lentosuunnitelma, jossa lennetään kartoitettava alue kahdensuuntaisesti. Valkoiset viivat ovat lentoratoja ja vihreällä on merkattu kartoitettava alue.



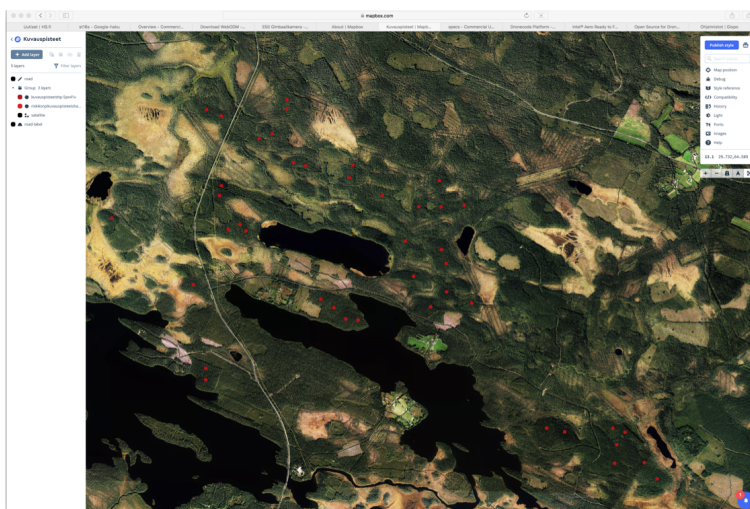
Kuva 10 DataPilotin Survey-tilai. Kuvan yläreunassa näkyy myös arvioitu lentoaika tehtävälle ja tarvittavien akkujen lukumäärä

Tehtävät voi suunnitella tietokoneella ja siirtää ne suunnittelun jälkeen kauko-ohjaimen ja sieltä RPA-laitteeseen. Vaihtoehtoisesti tehtävä voi suunnitella suoraan kauko-ohjaimella ja siirtää siitä RPA-laitteeseen.

6.4 Mapbox

Mapbox on selainpohjainen avoimen lähdekoodin ohjelmisto omien karttojen luomiseen ja jakamiseen. Mapboxin avulla voidaan luoda eri karttapohjia hyödyntäen karttoja, joissa on mm. omia merkintöjä tai interaktiivisia sijaintiin sidoksissa olevia ominaisuuksia. (Mapbox n.d.)

Yuneecin DataPilot-ohjelmistossa on mahdollista valita karttapalveluksi Mapbox, jolloin ST16S-ohjaimen saa omat kartat käyttöön, ja niiden avulla voi suunnitella mm Waypoint-lennätyksen. Kuvassa 11 on esitetty ruutukaappaus Mapboxin Studio-työkalusta, jolla on tehty kartta kuvattavista pisteistä.

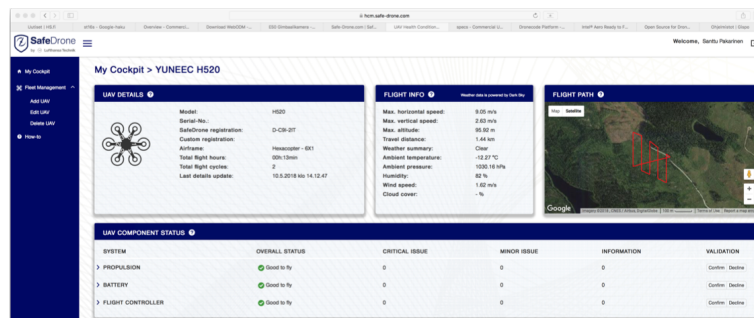


Kuva 11 Mapboxin Studio-työkalusta otettu ruutukaappaus, jossa näkyy kuvauspisteet punaisella. Pohjakartan voi itse määrittää Mapboxiin. Tässä on käytetty Mapboxin omaa ilmakuvaa. Nämä kartat voidaan ottaa suoraan käyttöön DataPilot-ohjelmistoon

Pisteet voi viedä Mapboxiin shape-tiedostoina, jolloin pisteet voi ottaa suoraan esimerkiksi metsäsuunnitteluohjelmistosta kuten tässä tapauksessa on tehty. Jokainen punainen piste kartalla esittää yhden metsikkökuvion keskipistettä, ja ne on otettu suoraan Forestkit-ohjelmistosta. Tällaista pohjakarttaa käyttäen ei tarvitse enää miettiä lennätyspaikalla, mistä kohtaa kuvat tulee ottaa.

6.5 SafeDrone

SafeDrone on Lufthansan tarjoama ilmainen palvelu RPA-laitteen lokitietojen tarkastukseen. Palvelun avulla voidaan tarkistaa, että kaikki RPA:n toimintaan vaikuttavat komponentit ja ohjelmistot toimivat asiaan kuuluvalla tavalla. Lisäksi jokaisesta lennosta saadaan ulos kaikki RPA-laitteen tallentamat telemetriatiedot kuten lentokorkeus, lentonopeus, kuljettu matka, lennon kesto ja paikannuksen tarkkuus. Palvelu näyttää lennon kartalla ja hakee automaattisesti mm. lentohetken säätiedot. Kuvassa 12 (s. 17) on ruutukaappaus palvelusta, jossa näkyy yhden lennon osalta kaikki oleelliset tiedot. (SafeDrone n.d.)



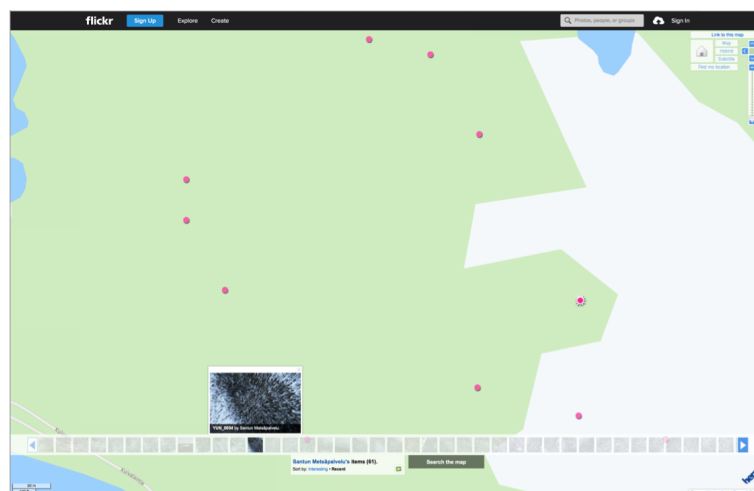
Kuva 12 Kuvakaappaus Lufhtansan tarjoaman SafeDrone-palvelun lokitietojen analyysistä. Tarkemmin pääsee vielä tarkastelemaan esim. akkujen tai lentokontrollerin toimintaa.

H520 tallentaa omat lokitietonsa .tlog-tiedostomuodossa, joka ei ole yhteensopiva SafeDrone-palvelun kanssa. Tästä syystä lokitiedot pitää ladata ensin H520:sta QGroundControl-ohjelmistolla, jonka avulla ne saa muutettua SafeDronen ymmärtämään .ulog-tiedostomuotoon. QGroundControl on osa Dronecode-projektia ja se on yhteensopiva kaikkien RPA-laitteiden kanssa, jotka käyttävät PX4-ohjelmistoa. (QGroundControl n.d.)

QGroundControlin kanssa saa tehtyä vakavaa vahinkoa H520:lle, jos ei tiedä mitä tekee. Sen avulla voidaan vaihtaa esim. koko lentokontrollerin ohjelmisto, ja tämän jälkeen H520 on ohjelmitava huollossa uudelleen, joten muihin toiminnallisuuksiin kuin lokitietojen lataukseen ei kannatta koskea.

6.6 Flickr

Flickr on valokuvien ja videoiden jakamiseen tarkoitettu ilmainen palvelu, jolla on tällä hetkellä yli 100 miljoonaa rekisteröitynyttä käyttäjää (Flickr n.d.). Flickr-palvelua käytettiin tässä työssä kuvien jakamiseen sidosryhmille. Flickr:n avulla kuvat saadaan sidottua oikeaan paikkaan koordinaattitietojen avulla ja esitettyä kuvat kuvauspisteiden mukaan kartalla (kuva 13).



Kuva 13 Ruutukaappaus Flickr-palvelusta. Jokainen punainen piste kartalla edustaa yhtä valokuvaa. Valokuvat saa täysikokoisiksi tuplaklikkaamalla kuvaa.

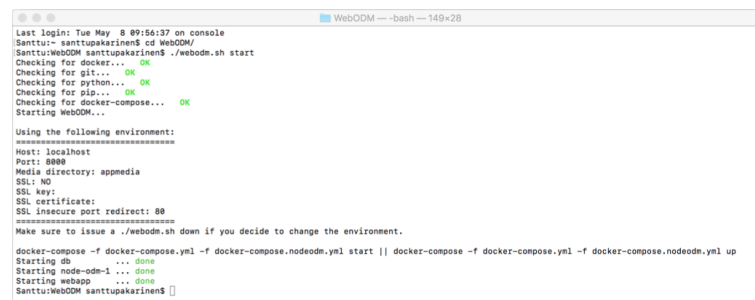
6.7 WebODM

WebODM on osa OpenDroneMap-projektia, joka on avoimen lähdekoodin fotogrammetriaohjelmisto (WebODM n.d.a). Ohjelmistolla saa tehtyä RPAS-laitteistolla otetuista ilmakuvista mm. ortomosaiikkeja, 3D-malleja, digitaalisia pintamalleja, teksturoituja pintamalleja, pistepilviä ja korkeusmalleja (GitHub 2018). Ohjelmisto toimii kaikilla alustoilla, eli sen saa asennettua niin Linuxille, MacOS:lle kuin Windowsillekin.

Toimiakseen WebODM tarvitsee niin sanotun palvelukomponentin, jonka päällä se toimii, ja joka tulee asentaa tietokoneelle ensin (GitHub 2018). Helpointa se on tehdä Docker-palvelukomponentilla. Docker on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jonka käyttö on ilmaista sekä yrityksille että yksityisille (Docker 2018).

WebODM:n mahdollisuudet ovat hyvin laajat ja se on täysin ilmainen niin yrityksille kuin yksityishenkilöillekin. WebODM:n sivustolta löytyy kattavat ohjeet ohjelmiston ja tarvittavien lisäosien asennukseen. Huonona puolena ohjelmistossa on sen korkeahko oppimiskynnys, eli pelkästään asennus vaatii vähintään kohtalaisia tietoteknisiä taitoja. Tällä hetkellä WebODM:stä on saatavilla asennuspaketit Windowsille ja MacOS:lle, jotka helpottavat asennusta (WebODM n.d.a).

WebODM asennetaan omalle koneelle, ja asennuksen jälkeen se toimii selainikkunassa. WebODM käynnistetään komentoriviltä (kuva 14) ja sen jälkeen selaimella tulee ottaa yhteys omaan koneeseen. MacOS:ssa se tapahtuu syöttämällä selaimen osoitekenttään *localhost:8000* (kuva 15). Käyttö on samanlaista kuin minkä tahansa selaimessa toimivan ohjelmiston.



```

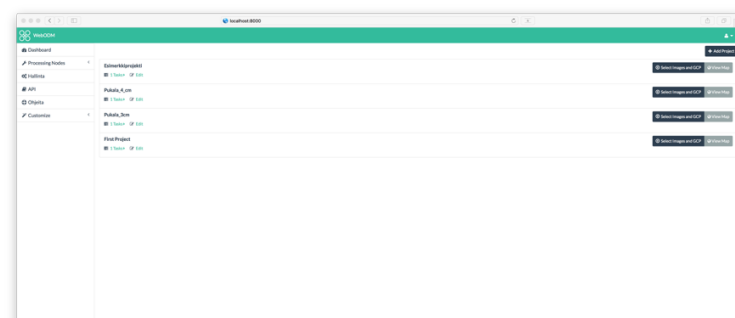
WebODM --bash -- 149x28
Last login: Tue May 8 09:56:37 on console
Santtu:~$ cd WebODM/
Santtu:WebODM$ ./webodm.sh start
Checking for docker... OK
Checking for git... OK
Checking for python... OK
Checking for pip... OK
Checking for docker-compose... OK
Starting WebODM...

Using the following environment:
=====
Host: localhost
Port: 8000
Media directory: appmedia
SSL: NO
SSL key:
SSL certificate:
SSL insecure port redirect: 88
=====
Make sure to issue a ./webodm.sh down if you decide to change the environment.

docker-compose -f docker-compose.yml -f docker-compose.nodedm.yml start || docker-compose -f docker-compose.yml -f docker-compose.nodedm.yml up
Starting db ... done
Starting node-odm-1 ... done
Starting webapp ... done
Santtu:WebODM$

```

Kuva 14 WebODM:n käynnistys komentoriviltä



Kuva 15 WebODM:n käyttöliittymän näkymä selaimikkunassa

WebODM:ssä on mahdollista säätää yli 50:ä asetusta, jotka vaikuttavat lopputulokseen. Niiden läpikäynti ei tässä kontekstissa ole järkevää. WebODM:n sivuilta löytyy kattavat ohjeet eri asetuksiin ja niiden vaikutuksiin.

Metsän kartoitusta ajatellen tärkeimmät asetukset ovat min-num-features (kuva 16). Tämä vaikuttaa siihen, montako vastaavaa pistettä tulee yhdistettävistä kuvista löytyä, jotta ne yhdistetään, ja joiden mukaan ne yhdistetään. Metsistä otetut kuvat ovat haastavia yhdistää, koska kuvissa on niin paljon kuvainformaatiota. Nostamalla yhdistettävien pisteiden määrää, päästään yleensä parempaan lopputulokseen, mutta kuvien yhdistäminen on hitaampaa. Oletuksena pisteitä on 8000, mutta vähintään 12000 pistettä on toimivampi asetus. Toinen muokattava asetus on use-pvms (kuva 17). Tämä käyttää eri algoritmia kuvien yhdistämiseen, ja se toimii paremmin metsäisissä kuvissa kuin oletuksena käytössä oleva algoritmi. (OpenDroneMap 2018.)



Kuva 16 Parametrien säätö metsäisiin kuviin paremmin sopivaksi



Kuva 17 Parametrien säätö metsäisiin kuviin paremmin sopivaksi

7 KARTOITUSTYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Kartoitettavat alueet sijaitsivat Kainuussa noin 100 kilometrin säteellä Kuhmosta. Kaikkiaan potentiaalisia tuhoalueita tämän työn osalta oli noin 1 300 hehtaaria, ja ne sijaitsivat viidellä eri metsätilalla. Koko alueen kartoittamiseen ei ollut aikaa, eikä se ajankäytöllisesti muutenkaan olisi ollut järkevää. Kaikki kartoitettavan alueen tilat on hoidettu Tapion metsänhoidon suositusten mukaisesti joko jaksollisen tai jatkuvan kasvatuksen periaatteita noudattaen (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2014, 22–23).

Kuvassa 18 on esitetty koko työprosessi pääpiirteissään vaihe vaiheelta.



Kuva 18 Vuokaavio työvaiheista suunnittelusta tulosten jakamiseen

Ensimmäisenä alueelta varmistettiin, että mikään kartoitettavista kuvioista ei sijaitse ilmailun kielto-, rajoitus- tai vaara-alueella. Tieto tarkistettiin Trafian tarjoamasta droneinfo.fi-palvelusta, josta voi katsoa kaikki Suomessa olevat rajoitus- ja lentokieltoalueet (Trafi 2017a). Pysyvien rajoitus- ja lentokieltoalueiden lisäksi alueilla voi olla tilapäisiä vaara- ja rajoitusalueita (Tempo-D ja Tempo-R). Nämä tulee tarkistaa Ilmailun tiedotuspalvelu AIS:sta. Samasta palvelusta voi tarkastaa, ovatko pysyvät vaara- ja rajoitusalueet aktiivisia. (AIS 2017.)

Lennätyspäivinä (10.–11.4.2018) kuvausalueilla oli kirkas ja aurinkoinen lentokeli. Lunta Kainuussa oli kuvausaikana 77 senttiä. Ilman lämpötilä oli yöllä ja aamulla pakkasen puolella, mutta päivällä lämpötila nousi plussan puolelle. Tämä vaikutti kuvausaikatauluun siten, että metsän reunassa oli oltava heti auringon noustua, jotta saatiin hyödynnettyä hankikantoa ja liikkuminen oli huomattavasti nopeampaa. Taulukkoon 3 on listattu lentoaikoina vallinneet sääolosuhteet. Sää tiedot on haettu Ilmatieteenlaitoksen sääpalvelusta, josta saa ladattua jokaisen Suomessa sijaitsevan mittauspisteen tuntikohtaiset sää tiedot. (Ilmatieteen laitos n.d.a.)

Taulukko 3 Säätila ja lumensyvyys lennätysaikoina.

Lennon numero	Tuulen nopeus (m/s)	Puuskanopeus (m/s)	Ilman lämpötila, (C°)	Lumen syvyys (cm)
1	2,9	5,6	1,7	77
2	2,9	5,6	1,7	77
3	3,4	6,2	2,1	77
4	2,3	4,2	-3	77
5	2,3	4,2	-3	77
6	2,3	5,5	-0,1	77
7	2,3	5,5	-0,1	77
8	4,2	9,2	2,8	77
9	4,5	8,3	4,8	77

7.1 Kartoitettavien kuvioiden valinta

Kuten luvussa 4.1 todetaan, syntyvät tykkylumituhot todennäköisimmin alueille, jotka ovat yli 200 metriä merenpinnan yläpuolella. Kartoitustyö aloitettiin rajaamalla tämän korkeuskäyrän alapuolella sijaitsevat kuviot pois. Jäljelle jääneistä kuvioista päätettiin tarkistaa sellaiset 02- ja 03-luokan metsät, joissa oli tehty harvennus viimeisen parin vuoden aikana. Näihin rajauksiin päädyttiin sillä perusteella, että juuri harvennetut metsät ovat alttiimpia tuhoille, koska puusto ja juuristo eivät vielä ole sopeutuneet harvennuksen jälkeisiin olosuhteisiin (Luke 2014).

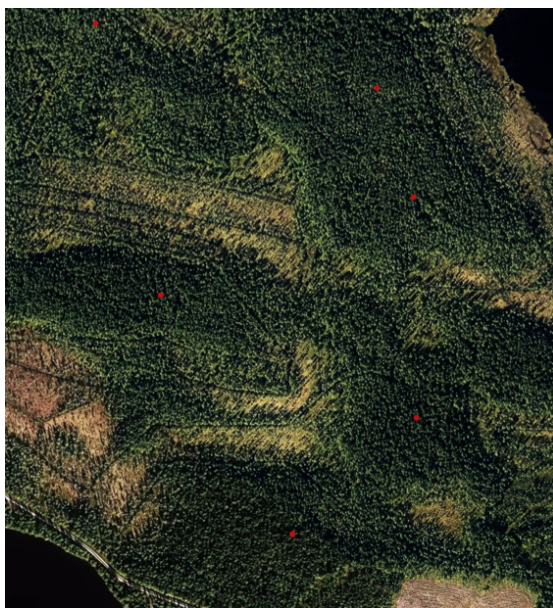
Lisäksi päätettiin tarkistaa kuviot, jotka olivat päätehakkuuvaiheessa. Päätehakkuuvaiheessa oleva puusto on tukkipuumäärän vuoksi arvokainta, joten tappiotkin mahdollisissa tuhotilanteissa olisivat suurimpia. Kesä- ja kelirikko kohteita ei otettu kartoitukseen mukaan. Näille kohteille pääsee joka tapauksessa tekemään tarvittavat hakkuut lumien sulettua, ja kohteiden tarkistaminen onnistuu myös jalkaisin sulan maan aikaan.

Tavoitteena oli saada rajattua kuvioiden määrä sellaiseksi, että ne voidaan kartoittaa enintään kolmen työpäivän aikana. Kartoituksella oli kiire, koska kevät oli jo melko pitkällä. Mahdollisessa tuhotilanteessa metsäkooneet täytyisi saada maastoon nopeasti ja puut ajettua sellaisen tien varteen, että ne saataisiin pois metsästä metsätuholain määrittämien aikarajojen puitteissa. Kainuu kuuluu metsätuholain osalta C-alueeseen, joten mänty tulee kuljettaa pois 15.7. mennessä ja kuusi 15.8. mennessä (Metsäkeskus n.d.e).

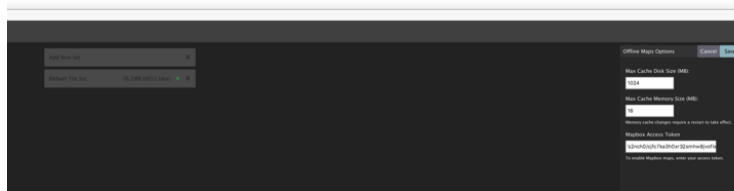
Kartoitettavien kuvioiden rajaaminen tehtiin ForesKit-ohjelmistolla edellä mainituin perustein. Rajaaminen onnistui helposti, koska ForesKitissä saa kattavasti valittua erilaisia filttareita, joiden avulla tietoa voidaan suodattaa.

7.2 Lentosuunnitelmien ja lennätysten tekeminen

Alustavat lentosuunnitelmat eri alueille tehtiin ennakkoon tietokoneella käyttäen DataPilot-ohjelmistoa. Kartoitukseen valittujen kuvioiden keskipisteet otettiin ForestKit-ohjelmistosta .shp-tiedostona ja siirrettiin Mapbox-ohjelmistoon (kuva 19, s. 22). Tämän jälkeen DataPilot-ohjelmistossa pohjakartaksi valittiin Mapbox, ja kartoitettavat kuviot saatiin näkymään suoraan DataPilotissa. DataPilotissa Mapboxiin täytyy tehdä linkki omiin karttoihin, jonka avulla ne saadaan käyttöön pohjakarttoina (kuva 20, s. 22).



Kuva 19 Tallennetut kuvauspisteet Mapboxin kartalla

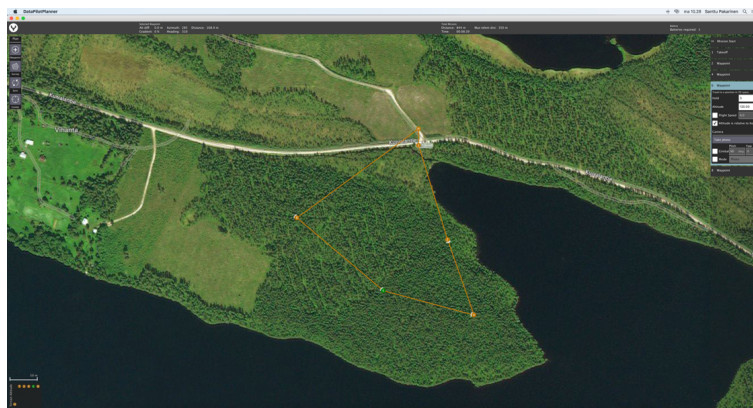


Kuva 20 DataPilotin asetukset, joiden kautta Mapboxin omat kartat voidaan asettaa taustakartoiksi.

Ennakkoon valittuja kuvattavia kuvioita oli kaikkiaan 35. Eri lennätysiksi näiden kuvioiden kuvaamiseksi tuli suunnitteluvaiheessa 11. Kolme kuvioita ja kaksi lennätystä jätettiin tekemättä, koska pois jätettyjä kuvioita vastaavilta kuvioilta ei tuhoalueita havaittu kartoitusten aikana.

Tämän työn puitteissa ei ollut tarpeellista tehdä ortomosaiikkeja kartoitettavista kuvioista, koska mahdolliset metsätuhot näkyisivät riittävällä tarkkuudella yhdestä kuvioita otetusta kuvasta. Jokaisen kuvion keskipisteestä otettiin yksi kuva 120 metrin korkeudesta, jolloin kuvaan tuli noin 2,5 hehtaarin alue.

Jokaisessa kuvauspisteessä RPA-laite määritettiin pysähtymään kolmeksi sekunniksi ja ottamaan kuva suoraan alas. Lentonopeudeksi kuvauspisteiden välillä oli määritetty 10 m/s eli 36 km/h. Kuvassa 21 (s. 23) on esitetty yhden lentosuunnitelman tiedot. DataPilot antaa lennon kestosta ja tarvittavien akkujen määrästä arvion suunnitteluvaiheessa. Käytännössä olen huomannut, että arviot ovat aika voimakkaasti yläkanttiin, ja todellisuudessa lento tapahtuu nopeammin. Lennon todellisen keston voi laskea helposti matkan ja nopeuden perusteella, kunhan siihen lisää noin kaksi minuuttia, jotka menevät nousuun, laskuun ja pysähtymisiin kuvauspisteissä.



Kuva 21 Lentosuunnitelma ja tiedot kestosta, etäisyydestä, matkasta ja tarvittavien akkujen lukumäärästä

Lennon suunnittelussa tuli huomioida lainsäädännön rajoitus, jonka mukaan lennättäjällä tulee olla koko ajan näköyhteys RPA-laitteeseen (Trafi 2017b). Maksimissaan RPA oli lennättäjästä 913 metrin päässä, jolloin se juuri näkyi mustana pisteenä taivaalla. Sää oli lennätyspäivinä kirkas ja lähes pilvetön, joten niissä sääolosuhteissa lennätys näin kaukana oli mahdollista. Huonommalla säällä olisi täytynyt siirtyä lähemmäs kuvauspisteitä ja kävelyä olisi tullut huomattavasti enemmän.

Lennätykset tapahtuivat aiemmin tehtyjen lentosuunnitelmien mukaan. Autolla ajettiin aina niin lähelle lennätyspaikkaa kuin oli mahdollista (kuva 22), ja siitä matka jatkui lumikengillä joko metsäautotietä tai moottorikelkkauraa pitkin.



Kuva 22 Auto ajettu niin lähelle lennätyspaikka kuin mahdollista

Kuljettaessa maastossa RPAS-laitteisto ja muut tarvittavat varusteet kuljivat repussa. Jokaisella lennätyspaikalla kului muutama minuutti aikaa RPAS-laitteiston laittamisessa lennätysvalmiuteen. Jokaisella lennätyspaikalla täytyi kiinnittää propellit ja hakea kauko-ohjaimen tallennettu oikea lentosuunnitelma sekä lähettää se RPA-laitteeseen.

Kuvassa 23 RPA on valmiina lähtöön lennätyspaikalla. Lentosuunnitelman siirtämisen jälkeen automatiikka hoitaa lentämisen ja lennättäjän tulee vain seurata lentoa sekä olla valmiina ottamaan RPA-laite tarvittaessa hallintaan.



Kuva 23 RPA valmiina lähtöön lennätyspaikalla

Taulukossa 4 on esitetty suoritettujen lentojen kesto, pituus, maksimietäisyys lähtöpaikkaan/lennättäjään, lentokorkeus ja kuvattujen metsikkökuvioiden lukumäärä. Lentonopeuden keskiarvot ovat lentojen kokonaispituuksien mukaan painotettuja. Jokaisen lennon lentokorkeudeksi määritettiin 120 metriä maanpinnasta. Taulukossa esitetty lentokorkeus on merenpinnasta.

Taulukko 4 Lentotiedot koostettuna jokaisen lennon osalta.

Lennon numero	Lennon kesto noususta laskuun	Laskun ja nousun kesto (s)	Lennon kesto, josta vähennetty nousu ja lasku	Lennon kokonaispituus (m)	Keskinopeus, lasku ja nousu mukana	Keskinopeus	Pisin etäisyys lennättäjän ja dronen välillä (m)	Lentokorkeus merenpinnasta (m)	Kuvattujen metsikkökuvioiden lkm
1	0:05:00	0:01:39	0:03:21	1260	4,2	6,3	609	330	2
2	0:06:11	0:01:39	0:04:32	2220	6	8,2	913	320	4
3	0:04:26	0:01:39	0:02:47	1270	4,8	7,6	451	310	2
4	0:02:57	0:01:39	0:01:18	595	3,4	7,6	290	340	2
5	0:04:53	0:01:39	0:03:14	1600	5,5	8,2	471	333	4
6	0:04:15	0:01:39	0:02:36	1310	5,1	8,4	593	337	3
7	0:03:46	0:01:39	0:02:07	999	4,4	7,9	333	337	3
8	0:05:57	0:01:39	0:04:18	2110	5,9	8,2	518	353	6
9	0:06:33	0:01:39	0:04:54	2460	6,3	8,4	900	345	6
Yhteensä	0:43:58		0:29:07	13824					32
Keskiarvo	0:04:53		0:03:14	1536	5,4	8,0	564		

Kaikkien lentojen nopeuden keskiarvoksi tuli 8,0 m/s eli noin 29 km/h. Tässä on mukana myös kolmen sekunnin pysähdys jokaisen metsikkökuvion keskipisteen yllä. Nousu ja lasku huomioiden keskinopeudeksi muodostui hieman yli 19 km/h.

Aikaa kaikkien kuvioiden kuvaamiseen meni noin 12 tuntia, johon on laskettu myös siirtymät autolla ja kävellen eri kuvauspaikkojen välillä. Kokonaislentoaika kaikkien kuvioiden osalta oli alle 45 minuuttia, joten selkeästi suurin osa ajasta kului siirtymiin. Kävelyä lumikengillä tuli yli kymmenen kilometriä ja autolla ajoa hieman yli 300 kilometriä.

7.3 Kuvien tarkistus ja jakaminen

Yuneecin E90-kameralla 120 metrin korkeudesta otetun kuvan maaresoluutio (GSD, Ground Sampling Distance) on noin 3,5 cm. Maaresoluutio tarkoittaa sitä, minkä kokoista aluetta kennon yksi pikseli vastaa maanpinnan tasolla. 3,5 cm:n maaresoluutiolla yksi pikseli vastaa 12,25 cm² aluetta maanpinnalla (3,5cm x 3,5cm), ja se on täysin riittävä, jotta kuvasta voidaan tunnistaa yksittäiset puut ja arvioida mahdolliset lumituhot. Huomattavasti suuremmastakin maaresoluutiosta voitaisiin yksittäiset puut ja myrskytuhot tunnistaa, mutta lain asettama 150 metrin maksimilentokorkeus rajoittaa toimintaa.

Kuvaan tuleva pinta-ala ja pikselin GSD voidaan laskea esim. Pix4D:n julkaisemalla työkalulla, joka on esitetty kuvassa 24. Tietoja syöttäessä tulee huomioida, että kameran polttoväli tulee syöttää todellisen polttovälin mukaan, ei yleisesti käytetyn tavan mukaan, jossa polttoväli ilmoitetaan kinovastaavuuden mukaan. Esimerkiksi Yuneecin E90-kameran todellinen polttoväli on 8,3 mm ja kinovastaavuus on 23 mm.

GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR

Instructions

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell C16
4. Enter the Image Width (pixels) in cell C17
5. (Optional) Enter the Image Height (pixels) in cell C18
6. Hit Enter

Calculator

Sw	13.2	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fx	8.3	= the focal length of the camera (millimeters)
H	120	= the flight height (meters)
ImW	5472	= the image width (pixels)
ImH	3648	= the image height (pixels)
GSD	3.49	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	191	= width of single image footprint on the ground (meters)
Dh	127	= height of single image footprint on the ground (meters)

Diagram: A diagram showing a camera's field of view. A vertical line represents the flight height (H). A horizontal line at the top represents the sensor width (Sw). A horizontal line at the bottom represents the footprint width (Dw). The focal length (Fx) is indicated as the distance from the camera to the sensor.

Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

Kuva 24 Pix4D:n tekemä laskentatyökalu maaresoluution laskemista varten. Syötetyt tiedot ovat Yuneecin E90-kameran tietoja (Pix4D n.d.a)

Kuvassa 25 (s. 26) on esimerkkikuva yhdeltä metsikkökuviolta. Kuvassa näkyy satunnaisia kaatuneita ja katkenneita puita, mutta mistään tuhoalueesta ei voida missään tapauksessa puhua.



Kuva 25 Esimerkkikuva yhdeltä metsikkökuvioilta. Kuvassa näkyy yksittäisiä kaatuneita puita

Kaikki kuvat tarkistettiin silmämääräisesti ensin kauko-ohjaimen näytöltä ja lopuksi vielä tietokoneelta. Miltään kartoitetulta kuvioilta ei löytynyt lumituhoja yksittäisiä katkenneita runkoja ja kaatuneita puita lukuun ottamatta. Liitteinä 2–4 on kolme esimerkkikuvaa eri kuvioilta, joilta mahdollisia tuhoja kartoitettiin.

Kuvien tarkistuksen jälkeen kuvat ladattiin Flickr-palveluun, jossa ne sai sijoitettua kartalle kuvauspisteiden mukaan ja jaettua helposti kaikkien sidosryhmien kanssa.

8 RPAS-TYÖN TEHOKKUUS TUHOJEN KARTOITUKSESSA

Suuri ongelma tällä hetkellä erityisesti lumituhojen kohdalla on, että metseen ei pääse kartoittamaan tuhoja suuren lumimäärän ja/tai vaarallisen ympäristön vuoksi (MTK 2018). RPAS-laitteet antavat mahdollisuuden tehdä kartoitukset kauko-ohjatusti, jolloin vaarallisille alueille ei tarvitse mennä. Erityisesti lumituhojen kohdalla haasteeksi tulee myös lumen syvyys. Esimerkiksi tässä työssä esitellyssä kohteessa oli kartoitushetkellä 77 senttiä lunta. Keväällä, kun ilmat lämpenevät päivisin ja yöllä on vielä pakkasta, päästään hyödyntämään hankikantoa, mutta keskitalvella kunnollista hankikantoa on harvemmin. RPAS-laitteet antavat tällaisissa tapauksissa suuren edun tuhojen kartoituksissa.

Ongelmana myrskytuhojen kartoituksessa RPAS-laitteilla on lainsäädännön vaatimus näköyhteyden perustuvasta lennättämisestä ja maksimilentokorkeuden rajoittaminen 150 metriin. RENECO Oy on arvioinut omassa selvityksessään, että keskihintaisen RPAS-laitteiston toimintasäde on noin viisi kilometriä lennätyspaikasta (Tervo 2017, 23). Viiden kilometrin lentosäteellä voitaisiin tehdä jo hyvin laajat kartoitukset yhdestä lennätyspaikasta, eikä esimerkiksi metsäautoteiden auraamattomuus rajoitaisi toimintaa niin paljon kuin nyt. Tällöin lennätysten tulisi tapahtua ilman näköyhteyttä (BVLOS) ja ilmatila tulisi olla väliaikaisesti varattuna

lentotoiminnalle. BVLOS-toimintaa rajoittaa tällä hetkellä ilmatilavarauksen pitkä haku aika, jota tulee hakea alueelle kahdeksan viikkoa ennen lentämistä (Trafi 2017d). Usein RPAS-laitteisto tulisi saada käyttöön heti.

Laajoja tuhoalueita kartoitetaan ilmasta käsin tällä hetkellä sekä lentokoneilla että helikoptereilla, ja kuvaukset tapahtuvat näillä laitteilla yleensä maakuntatasolla. Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) suoritti vuonna 2011 kolmelle eri alueelle testikuvaukset myrskytuhojen kartoituksesta pienlentokoneella. Kuvaukset toteutettiin Tuusjärven, liniemen ja Rautjärven alueilla. Kuvattava pinta-ala oli yhteensä 108000 hehtaaria. Tuusjärven kuvien GSD oli 10 cm ja kuvattava pinta-ala 3600 ha; liniemen GSD oli 30 cm ja kuvattava pinta-ala 39600; Rautjärven GSD oli 40 cm ja kuvattava pinta-ala 64800 ha. Lentokustannukset kartoituksessa olivat 10300 € (ALV 0%), ja lisäksi työtunteja kului 48. Pelkän lentokustannuksen hinta oli näin ollen noin 0,1€/ha (ALV 0%). (Maa- ja metsätalousministeriö 2011, 22–23.)

Miehitettyjä helikoptereita käytetään erityisesti sähköyhtiöiden toimesta suurhäiriötilanteissa tilannekuvan muodostamiseen ja keskijänniteverkon vikojen paikantamiseen. Miehitetyn helikopterin lentotutintakustannus on koneesta ja varustuksesta riippuen 900–1 500 €/tunti (ALV 0%). RPAS-laitteiston lentotuntihinnaksi on RENECON selvityksessä arvioitu 100–200 €/tunti (ALV 0%). Hinta-arvioon sisältyvät kaikki lentotoiminnan työ- ja laitekulut, joista työkustannukset ovat määrävissä asemassa. RPAS-laitteiden käytöllä voidaan osin korvata miehitettyjä helikoptereita muun muassa vianpaikannuksessa ja saavuttaa näin merkittäviä säästöjä. RPAS-laitteiston käytön rutinoituessa miehitettyjen helikopterien käytön vähentymisestä saatavat säästöt voivat RENECON arvion mukaan olla verkko-yhtiöissä vuositasolla varovaisestikin arvioituna useita satoja tuhansia euroja. (Tervo 2017, 53.)

Arvioitaessa RPAS-laitteiston nopeutta ja kustannustehokkuutta tässä työssä aiemmin esitettyjen lukujen valossa, voidaan hehtaariohtainen hinta kartoitustyölle laskea taulukon 5 (s. 28) mukaisesti. Tässä tulee huomioida, että esimerkiksi lentoreitit on arvioitu optimaalisesti siten, että toiminta on mahdollisimman tehokasta ja niin sanottujen tyhjen lentojen osuus esimerkiksi RPA-laitteen akun vaihdon vuoksi on minimoitu. Metsätilat ovat harvemmin suorakaiteen muotoisia ja rajautuneet siten, että akkujen vaihto onnistuisi aina optimaalisessa sijainnissa eli mahdollisimman lähellä lennättäjää. Ortomosaiikin teossa DataPilot-ohjelmisto arvioi tarvittavien akkujen lukumääräksi 3. 100 hehtaarin kartoitus onnistuu normaaleissa sääolosuhteissa 120 metrin korkeudesta kahdella akulla, joten todellisuudessa lentoaika olisi lyhyempi kuin taulukossa on esitetty.

Taulukko 5 Esimerkkilaskelma RPAS-laitteiston hehtaarikohtaisesta tuntihinnasta

	Pelkkä kartoitus	Ortomosaiikki
Kartoitettava alue	100 ha	
Lentokorkeus	120 m	
Maaresoluutio	0,0352 m	
Yhden kuvan leveys maassa	193,52 m	
Yhden kuvan pituus maassa	129,3 m	
Keskilentonopeus	8 m/s	
Kuvien ottoväli	16 s	2,4 s
100 ha kuvaus	10:50 min	38:40 min
Nousu ja lasku	1:39 min	
Kokonaiskesto	12:29 min	40:09 min
Tuntihinta	200 €	
Lennon suunnittelu/valmistelu	20:00 min	20:00 min
Hinta €/ha	1 €	2 €

Laskelmista voidaan todeta, että RPAS-laitteistolla suoritettujen kartoitusten hehtaarikohtainen hinta on 10-20 kertaa suurempi kuin MMM:n testitilannoissa. MMM:n hintoihin ei kuitenkaan oltu laskettu mukaan työtunteja, joten nekin tulisi huomioida. Voidaan kuitenkin päätellä jo näillä perusteilla, että lentokoneella tehtävä kartoitus tulee halvemmaksi, kun kartoitettava alue on riittävän suuri.

Laajojen alueiden kartoituksia, kuten maakuntatasolla tapahtuvia, ei RPAS-laitteilla voida korvata liian pienen toimintasäteen takia. Tilakohtaisesti kuvattuna RPAS-laitteille on kuitenkin nähtävissä selkeästi mahdollisuuksia. Kartoitukset voidaan kohdentaa huomattavasti tarkemmin kuin ilmakestä lentokoneesta tehtäessä, kuvat ovat tarkempia ja mahdolliset tuhot voidaan kartoittaa jokaiselta tilalta kuviokohtaisesti.

Reneco Oy on omassa selvityksessään arvioinut metsäolosuhteissa kulkevan henkilön nopeudeksi 2 km/h päivällä ja 1 km/h yöllä. Jalkaisin kulke- mista hidastaa maastossa erityisesti lumi, suot, joet, purot ja ojat. (Tervo 2017, 67.)

Jalkaisin tehtävään maastotarkistukseen nähden RPAS-laitteistolla saadaan selkeä hyöty sekä nopeuden että saavutettavuuden suhteen. RPAS-laitteistolla ei perinteisellä RGB-kameralla saada kuvattua yöllä, mutta valoisuuden aikaan nopeus on huomattavasti suurempi verrattuna jalkaisin tehtävään työhön.

9 PUUSTOMÄÄRÄN ARVIOINTI

Aiemmissa luvuissa kuvatut asiat ovat keskittyneet puhtaasti tiedon keräämiseen metsästä ja tuhojen visuaaliseen tarkistamiseen. Tärkeä osa-alue on kuitenkin kerätyn tiedon hyödyntäminen ja jatkojalostaminen. Tässä työssä kuvatussa tykkylumituhokartoituksessa riitti, että nähdään, onko jollain tietyllä kuviolla tuhoja vai ei. Kerättyä aineistoa voidaan hyödyntää kuitenkin myös suoraan puustomäärään laskentaan.

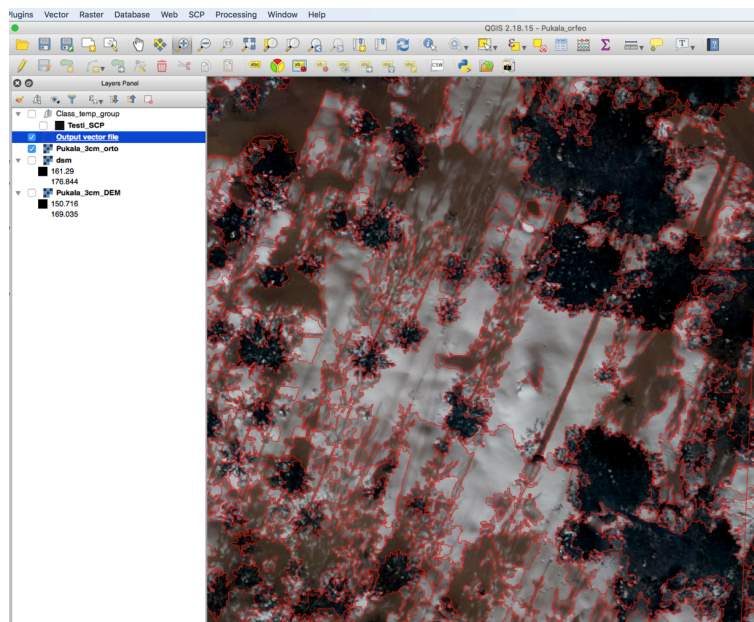
9.1 Kuvasta perustuva laskenta pinta-alaperustaisesti

Yksittäisistä ortokuvista voidaan laskea esim. pinta-aloja paikkatieto-ohjelmistolla, kunhan kuvat ovat ensin georeferoitu. Georeferointi tarkoittaa sijaintia koskevan tiedon liittämistä muuhun tietoon, tässä tapauksessa valokuvaan. Georeferoinnin avulla valokuvasta tulee paikkatietoainestoa, jolla on sekä mittakaava että sijainti. (Maanmittauslaitos 2018.) RPAS-laitteet tallentavat pääasiallisesti kuvaan informaation sen ottopaikasta, suunnasta ja korkeudesta. Paikkatieto-ohjelmistot, kuten QGIS, eivät vielä sen perusteella osaa sijoittaa kuvaa oikeaan paikkaan, eikä luoda sille mittakaavaa. Ohjelmistolle siis tulee määrittää paikka, jota kuva edustaa. Tämän jälkeen kuva on paikkatietoainestoa, ja siitä voidaan laskea esim. tuhoutuneen alueen pinta-ala. Pinta-alan perusteella voidaan arvioida kuinka paljon puuta on tuhoutunut, jos esimerkiksi metsäsuunnitelma kuviolta on olemassa.

9.2 OBIA

OBIA on akronyymi sanoista Object-Based Image Analysis. Tiivistetysti sanoen menetelmässä arvioidaan kuvan pikseleiden ominaisuuksia kuten väriä ja kirkkautta. Samojen ominaisuuksien vierekkäiset pikselit yhdistetään yksittäisiksi objekteiksi, jotka ovat yhdistämisen jälkeen vektorimuotoisia. OBIA-menetelmässä toisin sanoen muunnetaan rasterikuvat vektoritiedostoksi objektien suhteen. (GISGeography 2018.)

Kuvassa 26 (s. 30) on esitetty QGIS-ohjelmiston Orfeo Toolboxilla tehty luokittelu taimikolle, jossa samat ominaisuudet omaavat pikselit on yhdistetty objekteiksi. Kuvassa näkyvät punaiset rajaukset ovat aina yksittäisiä objekteja.

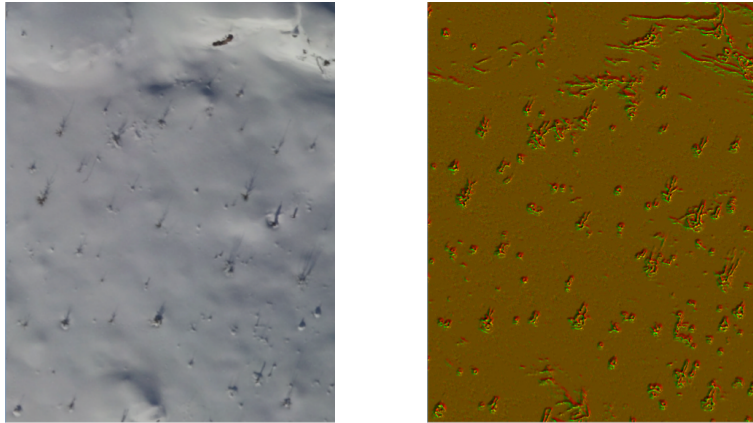


Kuva 26 QGIS-ohjelmistolla ja Orfeo Toolbox-työkalulla tehty luokittelu taimikkoon. Kuvassa ei objektien suhteen niin sanotusti tyhjiä kohtia, eli kaikki lumisetkin alueet ovat yksittäisiä objekteja.

Yhdistämisen ja vektoreiksi muuntamisen jälkeen vektoreita voidaan luokitella niiden ominaisuuksien kuten värin, pinta-alan, muodon tai korkeuden mukaan. Mikäli objekteja halutaan luokitella korkeuden mukaan, tarvitaan myös tieto korkeudesta. Objektin korkeustieto voidaan laskea vähentämällä digitaalisesta pintamallista (DSM, Digital Surface Model) digitaalinen korkeusmalli (DEM, Digital Elevation Model), jolloin tietoon saadaan kasvuston pituus (CHM, Canopy Height Model).

DSM-tiedosto saadaan tehtyä aiemmin esiteltyllä WebODM-ohjelmistolla, ja maanpinnan mallit ovat ladattavissa Maanmittauslaitoksen Avoimien aineistojen tiedostopalvelusta. Jotta WebODM-ohjelmistolla saadaan tehtyä DSM-tiedosto, täytyy kuvien olla riittävästi limittäin, jotta niistä syntyvistä stereokuvista saadaan laskettua pintamalli. Yksittäisestä kuvasta pintamallia ei saa tehtyä. Pix4D neuvoo omilla sivuillaan säätämään asetukset niin, että pituussuunnassa kuvat ovat 85-prosenttisesti limittäin ja sivusuunnassa 70-prosenttisesti limittäin, kun kuvataan runsaasti kasvillisuutta sisältäviä kohteita (Pix4D n.d.b).

Vektoreiden muodostamisen jälkeen aineistolle tehdään luokittelu erilaisiin ryhmiin. Esimerkiksi kuvan 26 kohdalla määritetään, että valkoiset alueet ovat lunta ja ne jätetään luokittelun ulkopuolelle. Samalla voidaan määrittää mukaan otettavien objektien minimikorkeus, jolloin esimerkiksi varjot saadaan poistettua laskennasta. QGIS:n Orfeo toolboxilla saadaan tehtyä kaikki tarvittavat toimenpiteet, mutta se vaatii usein kokeiluja eri asetuksilla. Kuvassa 27 (s. 31) on esitetty kuvapari samalta alueelta kuin kuvassa 26, mutta siinä luokittelu on viety jo pidemmälle. Kuvassa 27 (s. 31) lumi ei enää ole omana objektinaan, mutta lumen alla olevat kivet ja niiden varjot ovat vielä tulleet laskentaan mukaan. Tämä johtuu siitä, että pienten taimien vuoksi luokiteltavien objektien korkeus täytyi jättää matalaksi.



Kuva 27 QGIS-ohjelmiston Orfeo ToolBox-lisäosalla tehty OBIA-menetelmään perustuva luokittelu T1-luokan taimikolle. Kuvassa erottuu hyvin yksittäiset taimet, mutta vielä tulee virheellisiä tunnistuksia mukaan mm. varjoista.

Orfeo Toolbox -työkalulla OBIA-menetelmän työjärjestys menee pääpiirteissään seuraavasti:

- Tiedoston muuttaminen rasterista vektoriksi ja LabelObjectMap-muotoon.
 - Ehdollinen uudelleenmäärittely:
 - Eri ominaisuuksien laskenta halutuilta alueilta tai koko tiedostosta ennen varsinaista luokittelua
 - Muodon ominaisuudet
 - Tilastolliset ominaisuudet
 - Heijastuksien tai esim. textuurin (pinnanmuotoon) ominaisuudet.
 - Objektien karsinta/suodattaminen haluttujen ominaisuuksien mukaan (varsinainen luokittelu), kuten
 - Objektit, jotka pinta-alaltaan pienempiä kuin; objektit, jotka matalampia/korkeampia kuin; objektit, joiden heijastus tietyn värikanavan suhteen pienempi/suurempi kuin jne.
 - Säilytettävien objektien lukumäärän rajoittaminen, jos tarpeellista
 - LabelObjectMap-tiedoston muuntaminen takaisin kuvaksi.
- (Orfeo ToolBox n.d.)

OBIA-menetelmän käyttö puustotunnusten laskennassa vaatii vielä lisätyötä, mutta menetelmän avulla on mahdollista laskea ainakin runkoluku alueelta automaattisesti. Lisäksi, kun tiedossa on objektien korkeus ja pinta-ala, pitäisi sopivalla algoritmilla olla mahdollista laskea myös yksittäisen puun tilavuus ja sen myötä koko metsikön tilavuus. Tämä jää myöhempään kehitykseen.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Digitalisaation myötä myös metsätalous muuttuu voimakkaasti. Eri työvaiheille etsitään koko ajan uusia ja parempia tekotapoja. Tulevaisuudessa sellainen työvaihe, joka aikaisemmin tehtiin käsin, tehdään automaattisesti tai tietokoneavusteisesti.

Ilmastonmuutoksen seurauksena myrskytuhojen määrän on arvioitu kasvavan ja erilaisten sään ääri-ilmiöiden yleistyvän. Tykkylumituhojen määrän on arvioitu yleisesti ottaen vähenevän ilmaston lämpenemisen myötä. Kuitenkin alueilla, joissa tykkylumituhoja esiintyy jo nyt eniten, tuhot tulevat todennäköisesti lisääntymään. Tulevaisuutta ajatellen tarve uusille kartoitusmenetelmille tulee kasvamaan.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää, miten RPAS-laitteistot soveltuvat tykkylumituhojen ja samalla myös muiden abioottisten metsätuhojen kartoitukseen. Työn perusteella voidaan todeta, että RPAS-laitteistosta on tällaisten tuhojen kartoituksessa selkeää hyötyä. Tämän työn kirjoitushetkellä ei kaikkia joulukuussa 2017 syntyneitä tykkylumituhoalueita ole Kainuussa ja Pohjois-Karjalassa vielä saatu edes kartoitettua, koska metsään ei ole lumitilanteen takia päästy.

RPAS-laitteistolla voidaan saavuttaa jo syvän lumen aikaan hyvin laajat alueet, vaikka lennätykset tehtäisiin vain näköyhteyteen perustuen. Tämän työn puitteissa tehtyjen kartoituslentojen pisin etäisyys lennättäjän ja RPA-laitteen välillä oli hieman alle yksi kilometri. Tällöin laite oli edelleen näköyhteydessä ja hallittavissa. Jo tällaisella lennätysetaisyydellä saadaan selkeä hyöty jalkaisin tehtyyn maastotarkastukseen nähden.

RPA-laitteen nopeus on moninkertainen kävelyyn verrattuna. Kaikkien lentojen nopeuden keskiarvoksi tuli noin 19 km/h, kun huomioidaan kolmen sekunnin pysähdys jokaisen metsikkökuvion keskipisteen yllä sekä nousu- ja laskuaika. Kaikkiaan lentokilometrejä työn puitteissa tuli noin 14 km. Mikäli arvioidaan etenemisnopeudeksi maastossa kävellen yhdestä kahteen kilometriä tunnissa, olisi pelkän lentoreitin läpikäyntiin kulunut 7-14 tuntia. RPA-laitteella siihen kului alle 45 minuuttia. Syvän lumen aikaan maaston ei edes pääse jalkaisin. Lisäksi tulee huomioida, että tässä työssä käytetyn kameran yhdestä 120 metrin korkeudesta otetusta kuvasta nähdään kerralla noin 2,5 hehtaarin alue. Yhden kuvan leveys 120 metrin korkeudesta on hieman alle 130 metriä, joten tämän levyisen kais-taleen saa kuvattua koko lentoreitiltä. Pinta-alaksi muutettuna tämän työn aikana tehdyissä lennoissa olisi siis voitu kuvata yhteensä 182 hehtaarin alue ja siihen olisi kulunut 45 minuuttia lentoaikaa.

Tulevaisuutta ajatellen olisi hyvä tehdä valtakunnallinen varautumissuunnitelma poikkeuksellisen laajoille tuhoalueille ja nopeuttaa näissä tilanteissa BVLOS-lennätyksen haku-aikaa. Tällä hetkellä ilmatilavaraus tu-

lee tehdä kahdeksan viikkoa ennen aiottua lennätystä, mikä sekä rajoittaa että viivästyttää tuhoalueiden kartoitusta.

Tämän työn puitteissa pyrittiin löytämään tuhokartoituksen tekoon ja tulosten jakamiseen soveltuvat ohjelmistot ja työhön soveltuva RPAS-laitteisto. Eri ohjelmistoihin tutustuminen ja niiden käytön opettelu vei paljon aikaa. Vaikka kokemusta eri ohjelmistojen käytöstä oli entuudestaan paljon, vaati uusien ohjelmistojen omaksuminen oman aikansa. Lisäksi soveltuvat ohjelmistot täytyi ensin löytää. Tässä työssä esitellyt ohjelmistot ovat ominaisuuksiltaan sellaisia, että niillä voidaan tehdä kaikki tarvittava tuhokartoitusta ja kaikkea muutakin RPAS-laitteella tehtävää kartoitusta ajatellen. Kaikki ohjelmistot ovat ilmaisia, mutta niiden käyttö edellyttää vahvaa tietoteknistä osaamista. Erityisesti WebODM-ohjelmiston asennus ja käyttöönotto on haasteellista ilman maksullisia asennuspaketteja. Työssä käytetty RPAS-laitteisto osoittautui helppokäyttöiseksi ja luotettavaksi. Mitään ongelmia ei laitteistoon tullut kartoituslentoja tehtäessä.

Mikäli kartoitettavien alueiden puustomäärästä täytyisi tehdä kuviin perustuvaa tulkintaa, on tässä työssä esitellyissä menetelmissä vielä paljon lisätyötä. OBIA-menetelmä vaikuttaa hyvin lupaavalta, mutta sen haltuunotto jää tulevaisuuden kehitystyöhön. Erilaiset tekoälyohjelmistot tulevat tulevaisuudessa yleistymään myös metsätalouden sovellutuksissa. TensorFlow-ohjelmistolla saadut tulokset ovat lupaavia, mutta ohjelmiston haittapuolena on, että alueesta täytyy olla referenssikuvat saatavilla.

Tämän työn aikana perehdyin laajasti eri RPAS-laitteistoihin, lento- ja paikkatieto-ohjelmistoihin sekä lentotyöskentelyä koskevaan lainsäädäntöön. Kaikkiaan opinnäytetyöprosessi on ollut opettava ja motivoiva. Sen aikana minulle on auennut uusia mahdollisuuksia RPAS-laitteiden hyödyntämiseen myös eri toimialoilla, ja niiden pariin siirryn seuraavaksi. Kehitystyötä OBIA-menetelmän hyödyntämiseksi jatkan edelleen ja toivon lähitulevaisuudessa voivani hyödyntää menetelmää esimerkiksi metsäsuunnitelmien teossa.

LÄHTEET

- AIS (2017). Suomen ilmailukäsikirja (AIP). Haettu 1.6.2018 osoitteesta <https://ais.fi/ais/eaip/fi/>
- ArcGIS (n.d.). *Introduction to ortho mapping*. Haettu 6.5.2018 osoitteesta <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/imagery/introduction-to-ortho-mapping.htm>
- Arrasvuori, J. & Yli-Viitala, P. (n.d.). *Digitalisaatio maa- ja metsätaloudessa: Uudet toimintatavat tuotannon tehostajina*. Haettu 8.5.2018 osoitteesta <https://www.univaasa.fi/fi/sites/ep-digi/kirjanen/>
- Bitcomp (2017). *Myrskytuhoja tunnistamaan*. Blogijulkaisu 15.12.2017. Haettu 28.4.2018 osoitteesta <https://bitcomp.com/2017/12/15/myrskytuhoja-tunnistamaan/?lang=fi>
- Docker (2018). *Explore the Docker product that is right for you*. Haettu 15.3.2018 osoitteesta <https://www.docker.com/get-docker>
- DroneCode (n.d.). *Member list*. Haettu 13.5.2018 osoitteesta https://www.dronecode.org/#member_list
- Flickr (n.d.). *About Flickr*. Haettu 15.5.2018 osoitteesta <https://www.flickr.com/about>
- GISGeography (2018). *OBIA – Object-Based Image Analysis (GEOBIA) – Think Objects, Not Pixels*. Haettu 10.2.2018 osoitteesta <https://gisgeography.com/obia-object-based-image-analysis-geobia/>
- GitHub (2018). *OpenDroneMap, What it is?* Haettu 9.2.2018 osoitteesta <https://github.com/OpenDroneMap/OpenDroneMap/>
- Hobbylinna (n.d.). *Yuneec H520 with ST16S EU*. Hintatiedot. Haettu 15.3.2018 osoitteesta <https://www.hobbylinna.fi/kauppa/tarkennettuhaku/11/?keywords=h520>
- Ilmatieteen laitos (n.d.a). Ilmatieteen laitoksen palvelu säätietojen lataamiseen. Haettu 15.4.2018 osoitteesta <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Ilmatieteen laitos (n.d.b). *Tykkylumi eli tykkylumi*. Haettu 18.5.2018 osoitteesta <http://ilmatieteenlaitos.fi/tykky-eli-tykkylumi>
- Lehtonen, I. (2017). *Projected climate change impact on fire risk and heavy snow loads in the Finnish forests*. Väitöskirja. Finnish Meteorological

Institute Contributions 133. Haettu 10.5.2018 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-336-023-5>

Luke (2005). *MetINFO - Metsien terveys, Lumi*. Haettu 5.5.2018 osoitteesta http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/ablumi-n.htm

Luke (2014). *MetINFO - Metsien terveys, Myrsky*. Haettu 5.5. osoitteesta http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/abmyrs-n.htm

Luke (2016). *Metsät ja ilmastonmuutos*. Haettu 3.5.2018 osoitteesta <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsat-ja-ilmastonmuutos/>

Luke (2017). *Valtakunnan metsien inventointi: VMI:stä saadaan lähes reaaliaikaista tietoa metsätuhojen esiintymisestä*. Haettu 3.5.2018 osoitteesta <https://www.luke.fi/uutiset/valtakunnan-metsien-inventointi-vmista-saadaan-lahes-reaaliaikaista-tietoa-metsatuhojen-esiintymisesta/>

Maa- ja metsätalousministeriö (2011). *Ilmakuvaus äkillisten metsätuhojen ja tulvien yhteydessä*. Työryhmämuistio. Haettu 8.5.2018 osoitteesta http://mmm.fi/documents/1410837/1724539/trm2011_7.pdf/33c089c4-f2e3-4bac-9e44-a2c228ea1282/trm2011_7.pdf.pdf

Maanmittauslaitos (2018). *Geoinformatiikan sanasto*. Maanmittauslaitoksen Sanastokeskuksen julkaisuja TSK 51. Helsinki: Maanmittauslaitos. Haettu 15.5.2018 osoitteesta <http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/GeoinformatiikanSanasto.pdf>

Mapbox (n.d.) *About Mapbox*. Mapbox-palvelun esittelysivusto. Haettu 15.2.2018 osoitteesta <https://www.mapbox.com/about/>

Metsäkeskus (n.d.a) *Lumituhohakkuut*. Haettu 10.5.2018 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/lumituhohakkuut>

Metsäkeskus (n.d.b). *Metsää koskevia lakeja*. Haettu 10.5.2018 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/metsaa-koskevia-lakeja>

Metsäkeskus (n.d.c). *Metsän vakuuttaminen*. Haettu 9.5.2018 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/metsan-vakuuttaminen>

Metsäkeskus (n.d.d). *Muistilista metsätuholain vaatimuksista*. Haettu 10.5.2018 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/muistilista-metsatuholain-velvoitteista>

Metsäkeskus (n.d.e). *Metsätuholaki velvoittaa kuljettamaan puut aiempaa ripeämmin metsästä*. Haettu 13.5.2018 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/uutiset/metsatuholaki-velvoittaa-kuljettamaan-puut-aiempaa-ripeammin-metsasta>

MTK (2018). *Varovaisuutta lumituhojen tarkastamisen kanssa*. MTK:n uutiset. Haettu 7.5.2018 osoitteesta https://www.mtk.fi/ajankohtaista/uutiset/uutiset_2018/fi_FI/tykkylumi/

OpenDroneMap (2018). OpenDroneMap -ohjelmiston asennusohje. Haettu 15.3.2018 osoitteesta <http://docs.opendronemap.org/using.html#additional-arguments>

Orfeo Toolbox (n.d.). *Objec-Based Image Analysis*. Ohjesivusto Orfeo Toolboxin käyttöön. Haettu 13.3.2018 osoitteesta <https://www.orfeo-toolbox.org/SoftwareGuide/SoftwareGuidech20.html>

Paananen, R. (2018). *Drone-kuvausten käyttökelpoisuudesta metsäkeskuksen toiminnassa*. Maaseutu 2.0-hankkeen loppuseminaari. Haettu 15.5.2018 osoitteesta https://www.aitomaaseutu.fi/media/Maaseutu_loppuseminaari_Paananen_2018_01_24.pdf

Pix4D (n.d.a). *GSD Calculator*. Haettu 15.5.2018 osoitteesta <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249>

Pix4D (n.d.b). *How to verify that there is Enough Overlap between the Images*. Haettu 10.5.2018 osoitteesta <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/203756125-How-to-verify-that-there-is-Enough-Overlap-between-the-Images>

PX4 (n.d.) Px4-autopilotin esittelysivu. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <http://px4.io>

Pölkki, M. (2018). *Viime talven lumikriisi aiheutti historialliset tuhot: puita on pitänyt hakata liki 30 000 rekkakuormallista*. Helsingin Sanomien verkkopalvelu. Haettu 22.5.2018 osoitteesta <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000005690559.html>

QgroundControl (n.d.) QGroundControl-ohjelmiston esittelysivu. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <http://qgroundcontrol.com>

SafeDrone (n.d.). *Flying drones safely and responsibly – what you need to know as a pilot and business owner*. Haettu 28.4.2018 osoitteesta <https://www.safe-drone.com/de/en/>

Skyttä, V. (2018). *Puolet metsistä vakuutettu*. Metsälehdessä blogijulkaisu 28.2.2018. Haettu 5.5.2018 osoitteesta <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/puolet-metsista-vakuutettu/>

Taari, N. (2017). *Ilmakuvien analysointi digitaalisesti Tensorflow ohjelmistolla*. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala. Jyväskylän ammattikor-

keakoulu. Haettu 12.5.2018 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017060111780>

Tervo, J. (2017). *Miehittämättömät kauko-ohjattavat ilma-alukset sähköverkoston vianpaikannuksessa*. Sähköntutkimuspoolin selvitystyö. Reneco Oy. Haettu 10.4.2018 osoitteesta https://energia.fi/files/1801/Miehittamattomat_kauko-ohjatut_ilma-alukset_verkostovikojen_paikannuksessa_2017.pdf

Trafi (2017a). *Älä lennäätä täällä*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin ohjesivusto. Haettu 10.4.2018 osoitteesta https://www.droneinfo.fi/fi/ala_lennata_taalla

Trafi (2017b). *Näin lennätät turvallisesti*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin ohjesivusto. Haettu 10.4.2018 osoitteesta https://www.droneinfo.fi/fi/nain_lennatat_turvallisesti

Trafi (2017c). *Ilmoitus kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämisestä / Notification on the use of remotely piloted aircraft*. Haettu 23.2.2018 osoitteesta https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/kauko-ohjatun_ilma-aluksen_kaytosta_ilmoittaminen

Trafi (2017d). *Poikkeusluvut ja ilmatilavaraukset*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin ohjesivusto. Haettu 10.4.2018 osoitteesta https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/poikkeusluvut_ja_ilmatilavaraukset

Trafi (2017e). *RPAS Lentotyötoiminta*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin ohjesivusto. Haettu 5.5.2018 osoitteesta https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/rpas_lentotyö

Trafi (2018). *Ilmatila*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin ohjesivusto. Haettu 10.4.2018 osoitteesta https://www.trafi.fi/ilmailu/lennonvarmistus_ja_ilmatila/ilmatila

Trafi (n.d.). *Usein kysyttyä*. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafin Kysymyksiä ja vastauksia -palsta. Haettu 5.5.2018 osoitteesta https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit

Varpula, S. (2016). *Saako kuka tahansa kartoittaa oman metsätontin lennokilla? Näin vastaa Trafi*. Vantaan Sanomat -lehden verkkopalvelu. Haettu 28.4.2018 osoitteesta <https://www.vantaansanomat.fi/artikkeli/402265-saako-kuka-tahansa-kartoittaa-oman-metsatontin-lennokilla-nain-vastaa-trafi>

WebODM (n.d.a) *Drone Mapping Software*. WebODM-ohjelmiston esittelysivu. Haettu 13.2.2018 osoitteesta <https://www.webodm.org>

WebODM (n.d.b) *Download*. WebODM-ohjelmiston lataussivu. Haettu 13.2.2018 osoitteesta <https://www.webodm.org/download#installer>

Yuneec (2018). *Announcing Pix4DCapture integration for Yuneec H520*. Lehdistötiedote. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <http://us.yuneec.com/announcing-pix4d-yuneec-h520>

Yuneec (2017a). Yuneecin kotisivu kaupallisille droneille. Haettu 11.5.2017 osoitteesta <http://commercial.yuneec.com>

Yuneec (2017b). Yuneecin kotisivu DataPilot-ohjelmistolle. Haettu 11.5.2017 osoitteesta <http://commercial.yuneec.com/comm-en-datapilot>

Yuneec (2017c). Yuneecin kotisivu H520 dronelle. Haettu 11.5.2017 osoitteesta <http://commercial.yuneec.com/comm-en-h520-overview>

Yuneec (n.d.) *Ohjelmistokehitystyökalu SDK, Laaja ohjelmointirajapinta*. Haettu 15.2.2018 osoitteesta https://www.yuneec.com/fi_FI/kameradronet/h520/ohjelmistokehitystyökalu.html

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2014. *Metsänhoidon suosituks*. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisu. Helsinki: Metsäkustannus Oy

Antopäivä: dd.mm.2018	Voimaantulopäivä: dd.mm.2018	Voimassa: toistaiseksi
--------------------------	---------------------------------	---------------------------

Säädösperusta:
Ilmailulaki (864/2014) 5, 9, 57, 70 §

Täytäntöön pantava EU-lainsäädäntö:

-

Muutostiedot:

Kumotaan Liikenteen turvallisuusviraston 23.12.2016 antama ilmailumääräys OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen (TRAFI/90924/03.04.00.00/2016).

KAUKO-OHJATUN ILMA-ALUKSEN JA LENNOKIN LENNÄTTÄMINEN

1	SOVELTAMISALA	1
2	MÄÄRITELMÄT	1
3	KAUKO-OHJATUN ILMA-ALUKSEN LENNÄTTÄMINEN	3
4	LENNOKIN LENNÄTTÄMINEN	7
5	POIKKEUKSET	9

1 SOVELTAMISALA

Tätä määräystä sovelletaan kauko-ohjattujen ilma-alusten ja yli 250 g painavien lennokkien lennättämiseen Suomessa. Määräystä ei sovelleta sisätiloissa tapahtuvaan lennättämiseen eikä sotilasilmailuun.

2 MÄÄRITELMÄT

Tässä määräyksessä tarkoitetaan:

asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella keskittymää, jossa asukkaita tai työpaikkoja on neliökilometriä kohti 800 tai enemmän;

kauko-ohjaajalla kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttöön perehtynyttä henkilöä, joka käyttää ohjauslaitteita lennätyksen aikana;

kauko-ohjatulla ilma-aluksella (Remotely Piloted Aircraft, RPA) miehittämätöntä ilma-alusta, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta ja käytetään lentotyöhön;

kauko-ohjatun ilma-aluksen haltijalla luonnollista tai oikeushenkilöä, jonka käyttöön ilma-alus on luovutettu;

kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttäjällä luonnollista tai oikeushenkilöä, jonka käyttöön omistaja tai haltija on luovuttanut ilma-aluksen;

kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmällä (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS) kauko-ohjattua ilma-alusta, sen kauko-ohjauspaikkoja, tarvittavia ohjaus- ja seurantayhteyksiä ja muita erikseen määrättyjä kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön edellyttämien järjestelmän osia;

kauko-ohjatun ilma-aluksen omistajalla luonnollista tai oikeushenkilöä, joka omistaa kauko-ohjatun ilma-aluksen;

kauko-ohjatun ilma-aluksen päälliköllä lentotoiminnanharjoittajan tai kauko-ohjatun ilma-aluksen omistajan nimittämää kauko-ohjaajaa tai kauko-ohjatusta lennosta vastaavaa henkilöä, jolla on lennon aikana käskyvalta ja vastuu turvallisuudesta;

kauko-ohjauspaikalla (Remote Pilot Station, RPS) kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmän osaa, johon kuuluu kauko-ohjatun ilma-aluksen ohjaamiseen käytettävä varustus;

kauko-ohjaustähystäjällä kauko-ohjaajan hyväksymää henkilöä, joka ylläpitää jatkuvaa tietoisuutta kauko-ohjatun ilma-aluksen sijainnista, tarkkailee kauko-ohjattua ilma-alusta ympäröivää ilmatilaa ilman apuvälineitä ja avustaa kauko-ohjaajaa varmistamaan lennon turvallisuuden;

lennokilla lentämään tarkoitettua laitetta, jonka mukana ei ole ohjaajaa ja jota käytetään harraste- tai urheilutarkoitukseen pois lukien leluilma-alukset, jotka on suunniteltu tai tarkoitettu käytettäväksi joko yksinomaan tai osaksi alle 14-vuotiaiden lasten leikeissä;

lentoasemalla lentopaikkaa, jossa lentotiedotus-, hälytys-, ilmaliikenteen neuvonta- ja lennonjohtopalvelu on pysyvästi järjestetty;

lentoonlähtömassalla miehittämättömän ilma-aluksen tai lennokin kokonaisuudessa lentoonlähdön alkaessa, mukaan luettuna kaikki mukana olevat tavarat; *lentoonlähtömassaan ei kuitenkaan lueta mukaan ilma-alukseen tai lennokkiin kiinnitettyä pelastuslaitetta*;

lentotyöllä ilma-aluksen käyttämistä erikoistehtäviin;

lennättäjällä henkilöä, joka vastaa lennokin lennättämisestä;

lennokkien lennätyspaikalla ennalta määriteltyä ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistua paikkaa, jossa on mahdollista poiketa suurimmasta sallitusta lennätyskorkeudesta;

miehittämättömällä ilma-aluksella (Unmanned Aircraft, UA) ilma-alusta, joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa; tällä ei tarkoiteta lennokkia;

näköyhteyteen perustuvalla toiminnalla (Visual line-of-sight (VLOS) operation) toimintaa, jossa kauko-ohjaaja pitää ilman apuvälineitä yllä suoraa näköyhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen. Lennättämistä videolinkin avulla ei katsota näköyhteyteen perustuvaksi toiminnaksi;

avustettuun ilmatilan tarkkailuun perustuvalla toiminnalla (Extended Visual line-of-sight operation (E-VLOS)) toimintaa, jossa kauko-ohjaustähystäjä tarkkailee kauko-ohjattua ilma-alusta ympäröivää ilmatilaa ilman apuvälineitä ja avustaa kauko-ohjaajaa varmistamaan lennon turvallisuuden;

näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvalla toiminnalla (Beyond visual line-of-sight (BVLOS) operation) toimintaa, jossa kauko-ohjaaja pitää apuvälineiden avulla yhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen;

poikkeama-asetuksella Euroopan parlamentin ja neuvoston asetusta (EU) N:o 376/2014 poikkeamien ilmoittamisesta, analysoinnista ja seurannasta siviili-ilmailun alalla, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) N:o 996/2010 muuttamisesta sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2003/42/EY, komission asetusten (EY) N:o 1321/2007 ja (EY) N:o 1330/2007 kumoamisesta;

vapaastilentävällä lennokilla lennokkia, jossa lennokin ja lennättäjän välillä ei ole ohjausyhteyttä, pois lukien lennon päättämiseen tarkoitetut peruuttamattomat ohjaustoiminnot. Vapaasti lentävässä lennokissa ei ole paikannusjärjestelmiin tai muihin antureihin perustuvaa ohjausjärjestelmää ja sen maksimilentoonlähtömassa on enintään 1 kg.

3 KAUKO-OHJATUN ILMA-ALUKSEN LENNÄTTÄMINEN

3.1 YLEISET VAATIMUKSET

- 3.1.1 Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ilmailuun tämän määräyksen mukaisesti ei vaadita lentotölupaa eikä kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ilmailuun sovelleta lentotyöstä annettuja muita säädöksiä ja määräyksiä.
- 3.1.2 Kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttäjän on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle seuraavat tiedot:
- a) tiedot käyttäjästä,
 - b) tekniset perustiedot ilma-aluksesta,
 - c) toiminnan laatu ja laajuus,
 - d) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella,
 - e) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella.
- 3.1.3 Ilmoitus on annettava ennen kuin kauko-ohjattua ilma-alusta käytetään ilmailuun ensimmäisen kerran. Mikäli ilmoitetuissa tiedoissa tapahtuu muutoksia, käyttäjän on ilmoitettava niistä viipymättä Liikenteen turvallisuusvirastolle.
- 3.1.4 Lennätykset on suoritettava siten, että niistä aiheutuva vaara ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen sekä meluhaitta ovat mahdollisimman pienet.
- 3.1.5 Lennätykset on suoritettava siten, että ne eivät vaaranna, haittaa eivätkä estä hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastaavaan poikkeustilanteeseen paikalle saapuvan yksikön tai viranomaisen toimintaa.
- 3.1.6 Kauko-ohjaajan on kyettävä käyttämään turvallisesti ilma-alusta ja hallittava hätätilanteiden edellyttämät toimenpiteet. Kauko-ohjatusta lennosta vastaavan on oltava vähintään 18-vuotias.
- 3.1.7 Kauko-ohjatussa ilma-aluksessa on oltava järjestelmä tai kauko-ohjaajalla menettelysiltä varalta, että ohjaukseen tai valvontaan tarvittavat yhteydet katkeavat tai ilma-alus vikaantuu niin, että sen ohjaaminen estyy. Järjestelmän tai menettelyn on varmistettava, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni.
- 3.1.8 Kauko-ohjatusta ilma-aluksesta on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.

- 3.1.9 Kauko-ohjatuista lennoista on tallennettava seuraavat tiedot:
- a) lennätyksen päivämäärä,
 - b) lennätyspaikka,
 - c) ilma-aluksen päällikkö,
 - d) ilma-aluksen valmistaja ja malli,
 - e) lennätyksen tai lennätysjärjelyn alkamis- ja päättymisaika,
 - f) onko kyseessä:
 - 1) suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai
 - 2) suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS),
 - g) lennätystehtävän luonne sekä maininta mahdollisesta kauko-ohjaustähtäjästä käytöstä.
- 3.1.10 Tiedot lennätysistä tulee säilyttää yhden vuoden ajan.
- 3.1.11 Käytettäessä kauko-ohjattua ilma-alusta alueella, jota ei ole kielletty muulta ilmailulta tai miehittämättömän ilma-aluksen lennättämistä varten erotettu, on noudatettava seuraavia ehtoja:
- a) Kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoonlähtömassa saa olla enintään 25 kg.
 - b) Käytön on oltava näköyhteyteen tai avustettuun ilmatilan tarkkailuun perustuvaa toimintaa. Kauko-ohjatun ilma-aluksen on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennätettävä vallitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen riittävän lähellä kauko-ohjaajaa tai kauko-ohjaustähtäjää niin, että muu ilmailu ja toimintaan liittymättömät henkilöt voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti.
 - c) Käytettäessä kauko-ohjaustähtäjää on kauko-ohjaajalla ja kauko-ohjaustähtäjällä oltava yhteydenpitoaan varten luotettava viestintäväline, mikäli suora puheyhteys ei ole mahdollinen.
 - d) Lennätyskorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta. Korkeusrajoitus ei koske kiinteän esteen läheisyydessä tapahtuvaa lennättämistä kohteen omistajan luvalla. Korkeusrajoitus ei koske myöskään lennättämistä ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistuilla lennokkien lennätyspaikoilla tai kohdan 3.1.12 mukaista sovittua lennätystoimintaa.
- 3.1.12 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen lentoaseman läheisyydessä eli lähialueella (CTR, Control Zone), lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ, Flight Information Zone) tai radiovyöhykkeellä (RMZ, Radio Mandatory Zone) on kielletty:
- a) enintään 1 kilometrin vaakasuoralla etäisyydellä kiitoteiden reunoista;
 - b) yli 1 km, mutta enintään 3 km vaakasuoralla etäisyydellä kiitoteiden reunoista, välittömässä läheisyydessä olevan kiinteän esteen yläpuolella;



c) yli 3 km vaakasuoralla etäisyydellä kiitoteiden reunoista yli 50 metrin korkeudella maan tai veden pinnasta.

Kohtien b) ja c) korkeusrajoitukset voidaan ylittää 15 metrillä esteen välittömässä läheisyydessä edellyttäen että lento suoritetaan esteen omistajan luvalla.

Kohtien a), b) ja c) korkeusrajoituksista voidaan poiketa ilmailiikennepalvelun tarjoajan kanssa erikseen sopimalla.

Jyväskylän (EFJY) ja Utin (EFUT) lentoasemien lähialueella lennättämisestä on kuitenkin kaikissa tapauksissa sovittava erikseen ilmailiikennepalvelun tarjoajan kanssa.

3.1.13 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen on kiellettyä lähempänä kuin 1 km vaakasuoralla etäisyydellä valvomattoman lentopaikan kiitoteistä, ellei:

a) alueelle ole julkaistu lennättämiseen ohjeita, joita noudattamalla lennättäminen on sallittua, tai

b) lennätyksistä ole erikseen sovittu valvomattoman lentopaikan pitäjän kanssa.

3.1.14 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen on kielletty lähempänä kuin 600 m vaakasuoralla etäisyydellä helikopterilentopaikasta, ellei lennätyksestä ole sovittu erikseen helikopterilentopaikan pitäjän kanssa.

3.1.15 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen lähempänä kuin 50 m vaakasuoralla etäisyydellä ulkosalle kokoontuneesta väkijoukosta tai väkijoukon yläpuolella on sallittua vain kun:

a) ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa on enintään 7 kg,

b) lennätys tapahtuu suorassa näköyhteydessä,

c) käytetään sellaista lentokorkeutta, että hätätilanteessa voidaan suorittaa lasku siten, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen mahdollisimman pieni, tai ilma-alus on varustettu siten tai on ominaisuuksiltaan sellainen, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni,

d) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut toimeksiantokohtaisen kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,

e) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa,

f) edellä d) ja e) kohdissa tarkoitetut asiakirjat tulee toimittaa valvontaviranomaiselle ennen lentojen aloittamista.



3.1.16 Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen [asutuskeskuksen tiheästi asutun osan yläpuolella on sallittua](#):

a) [mikäli ilma-aluksen suurin lentoonlähtömassa on enintään 3 kg, lennättäjä on tutustunut alueeseen, varmistunut laitteen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lennättäminen voidaan suorittaa turvallisesti](#);

b) [mikäli kauko-ohjatun ilma-aluksen lentoonlähtömassa on yli 3 kg, mutta alle 7 kg, ilma-aluksen käyttäjän on laadittava kirjallinen turvallisuusarviointi, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen sekä kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa. Turvallisuusarvio ja toimintaohjeistusasiakirjat on säilytettävä vähintään kolmen kuukauden ajan toiminnan päättymisestä ja esitettävä pyynnöstä valvontaviranomaiselle](#).

Lisäksi on käytettävä sellaista lentokorkeutta, että hätätilanteessa voidaan suorittaa lasku siten, että siitä aiheutuva vaara on ulkopuolisille ihmisille tai heidän omaisuudelleen mahdollisimman pieni, tai ilma-alus on varustettu siten tai on ominaisuuksiltaan sellainen, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni.

3.1.17 Kauko-ohjatuille ilma-aluksille tapahtuneista poikkeamista, mukaan lukien onnettomuudet ja vakavat vaaratilanteet, on ilmoitettava Liikenteen turvallisuusvirastolle poikkeama-asetuksen ja ilmailuohjeen GEN T1-4 mukaisesti.

3.1.18 Kauko-ohjatun ilma-aluksen on väistettävä muita ilma-aluksia.

3.2 NÄKÖYHTEYDEN ULKOPUOLELLA TAPAHTUVA TOIMINTA

3.2.1 Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta, [jossa ei käytetä kauko-ohjaustähystäjää](#), on suoritettava tarkoitusta varten erikseen varatulla alueella ja toiminnassa on noudatettava seuraavia ehtoja:

a) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut aiotusta toiminnasta kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,

b) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa,

c) edellä a) ja b) kohdissa tarkoitettut asiakirjat säilytetään vähintään kolmen kuukauden ajan kyseisestä toiminnasta ja esitetään pyynnöstä valvontaviranomaiselle.

3.2.2 Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvassa toiminnassa noudatetaan tämän määräyksen 3.1 kohdan yleisiä vaatimuksia. Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvassa toiminnassa ei kuitenkaan noudateta 3.1.18 [kohdan mukaista väistämisvelvollisuutta](#).

3.3 VALTION ILMAILUA KOSKEVAT VAATIMUKSET

- 3.3.1 Valtion ilmailussa noudatetaan tämän määräyksen kohdan 3.1 yleisiä vaatimuksia ja kohdan 3.2 näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvaa toimintaa koskevia vaatimuksia.
- 3.3.2 Kohtien 3.1.8, 3.1.11 d), 3.1.15 ja 3.1.16 vaatimuksia ei kuitenkaan sovelleta, mikäli lakisääteisten tehtävien luonne sitä edellyttää. Lisäksi kohdassa 3.2.1 tarkoitettu näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lakisääteisen tehtävän suorittaminen on mahdollista yksittäistapauksessa erittäin painavista syistä ilman muusta ilmatilasta erotettua tai kyseistä toimintaa varten varattua aluetta, mikäli toimintaa ei ole voitu ennakoida sen kiireellisyyden vuoksi. Toiminnan aloittamisesta on kuitenkin viipymättä tiedotettava ilmatilan hallintayksikköä.
- Poikkeaminen edellyttää lisäksi, että:
- a) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut aiotusta toiminnasta kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
- b) ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa.
- 3.3.3 Kohdissa 3.1.2 ja 3.1.3 tarkoitettusta ilmoittamisesta on sovittava erikseen Liikenteen turvallisuusviraston kanssa.
- 3.3.4 Valtion ilmailun osalta voidaan sopia pitkäaikaisia pysyväisluonteisia menettelyjä tämän määräyksen kohdan 3.1.12 vaatimusten täyttämiseksi. Menettelyistä on sovittava yhdessä lennonvarmistuspalvelun tarjoajan ja Puolustusvoimien kanssa.
- 3.3.5 Valtion ilmailun osalta voidaan sopia erityisjärjestelyistä lentopaikan pitäjän kanssa tämän määräyksen kohtien 3.1.13 ja 3.1.14 vaatimusten täyttämiseksi.

4 LENNOKIN LENNÄTTÄMINEN

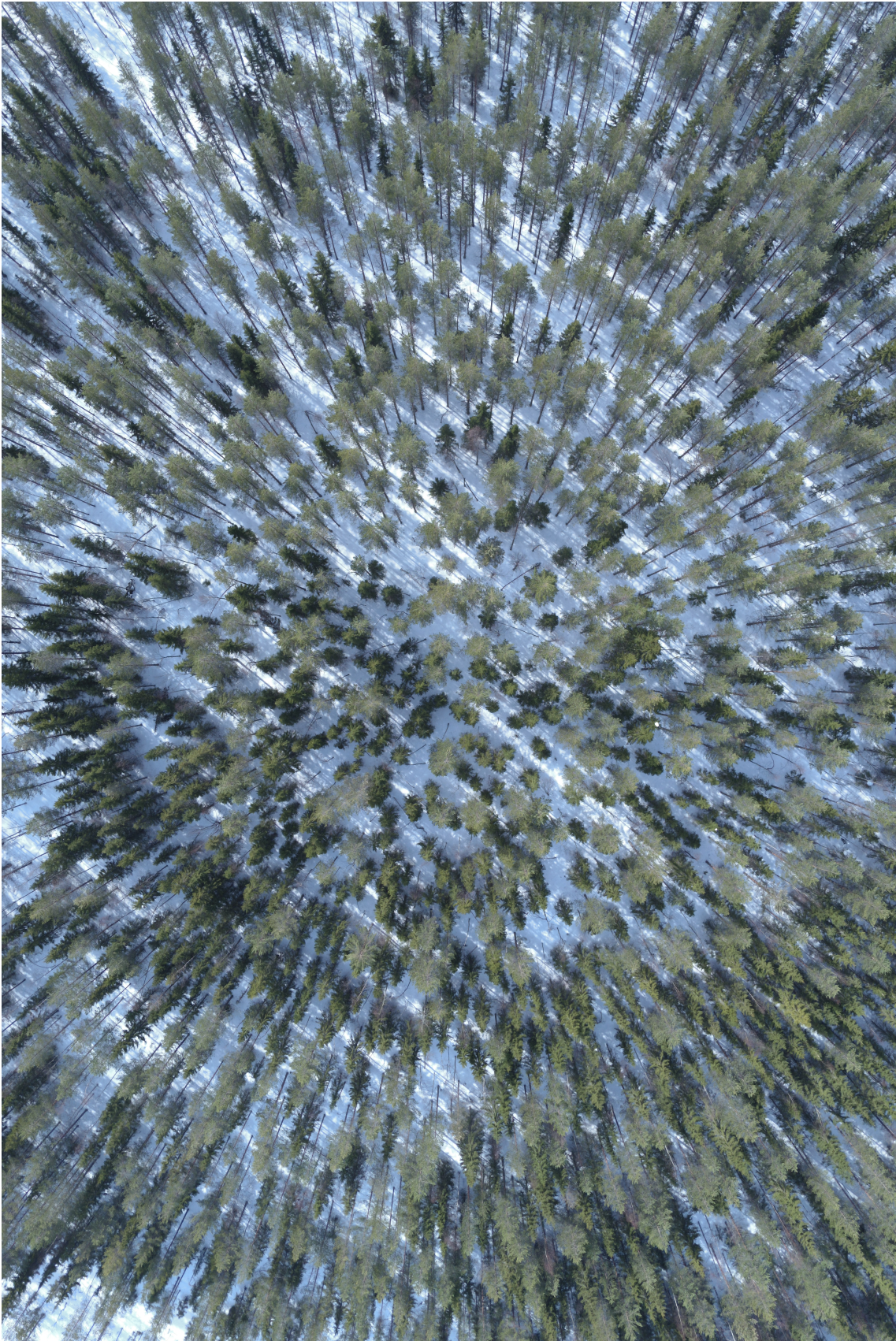
- 4.1 Lennätykset on suoritettava siten, että niistä aiheutuva vaara ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen sekä meluhaitta ovat mahdollisimman pienet.
- 4.2 Lennokin lennättäminen lähempänä kuin 50 m vaakasuoralla etäisyydellä ulkosalle kokoontuneesta väkijoukosta tai väkijoukon yläpuolella ei ole sallittua.
- 4.3 Lennokin lentoonlähtömassa saa olla enintään 25 kg.
- 4.4 Lentoonlähtömassaltaan enintään 3 kg lennokin lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella on sallittua, kun lennättäjä on tutustunut alueeseen, varmistunut laitteen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lennättäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Lentoonlähtömassaltaan yli 3 kg lennokin lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella ei ole sallittua.
- 4.5 Lennätykset on suoritettava siten, että ne eivät vaaranna, haittaa eivätkä estä hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastaavaan poikkeustilanteeseen paikalle saapuvan yksikön tai viranomaisen toimintaa.
- 4.6 Lennokista on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.

- 4.7 Lennokin lennättämisen on oltava suoraan näköyhteyteen perustuvaa. Lennokin on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennätettävä vallitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen riittävän lähellä lennättäjää niin, että muu ilmaliikenne ja esteet voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti.
- 4.8 Lennättäminen videolinkin avulla (FPV) on sallittua niin, että toiminnan turvallisuuden varmistamiseksi käytetään vähintään yhtä avustajaa, joka havainnoi ympäristöä sekä arvioi väistämistarpeen luotettavasti. *Avustajan on ylläpidettävä jatkuvaa tietoisuutta lennokin sijainnista, tarkkailtava lennokkia ympäröivää ilmatilaa ilman apuvälineitä ja avustettava lennättäjää varmistamaan lennon turvallisuuden. Avustajalla ja lennättäjällä on oltava suora puheyhteys ilman viestintävälineitä.*
- 4.9 Lennätyskorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta pois lukien erikseen määritellyt, ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistut lennokkien lennätyspaikat. Korkeusrajoitus ei koske kiinteän esteen läheisyydessä tapahtuvaa lennättämistä kohteen omistajan luvalla.
- 4.10 Lennokin lennättäminen lentoaseman läheisyydessä eli lähialueella (CTR, Control Zone), lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ, Flight Information Zone) tai radiovyöhykkeellä (RMZ, Radio Mandatory Zone) on kielletty:
- a) enintään 1 kilometrin vaakasuoralla etäisyydellä kiitoteiden reunoista;
 - b) yli 1 km, mutta enintään 3 km vaakasuoralla etäisyydellä kiitoteiden reunoista, välittömässä läheisyydessä olevan esteen yläpuolella;
 - c) yli 3 km vaakasuoralla etäisyydellä kiitoteiden reunoista yli 50 metrin korkeudella maan tai veden pinnasta.
- Kohtien b) ja c) korkeusrajoitukset voidaan ylittää 15 metrillä esteen välittömässä läheisyydessä edellyttäen että lento suoritetaan esteen omistajan luvalla.
- Kohtien a), b) ja c) korkeusrajoituksista voidaan poiketa ilmaliikennepalvelun tarjoajan kanssa erikseen sopimalla.
- Jyväskylän (EFJY) ja Utin (EFUT) lentoasemien lähialueella lennättämisestä on kuitenkin kaikissa tapauksissa sovittava erikseen ilmaliikennepalvelun tarjoajan kanssa.
- 4.11 Lennättäminen on kiellettyä lähempänä kuin 1 km vaakasuoralla etäisyydellä valvomattoman lentopaikan kiitoteistä, ellei
- a) alueelle ole julkaistu lennättämiseen ohjeita, joita noudattamalla lennättäminen on sallittua, tai
 - b) lennätuksista ole erikseen sovittu valvomattoman lentopaikan pitäjän kanssa.
- 4.12 Lennokin lennättäminen on kielletty lähempänä kuin 600 m vaakasuoralla etäisyydellä helikopterilentopaikasta, ellei lennätuksesta ole sovittu erikseen helikopterilentopaikan pitäjän kanssa.
- 4.13 Lennokin on väistettävä kaikkia ilma-aluksia.
- 4.14 Kohtia 4.7, 4.9 ja 4.13 ei sovelleta vapaastilentäviin lennokkeihin.

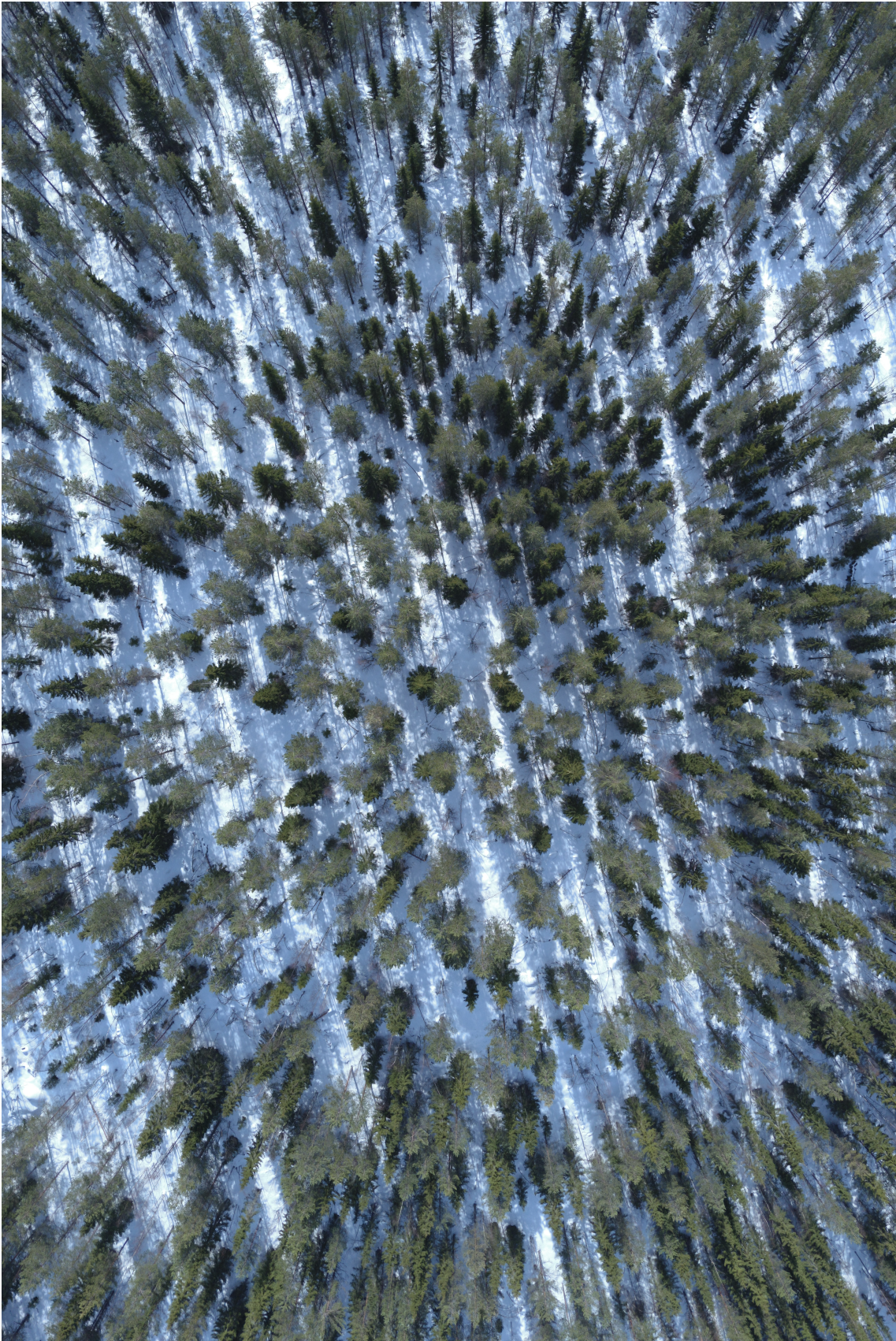
5 POIKKEUKSET

- 5.1 Liikenteen turvallisuusvirasto voi hakemuksesta myöntää poikkeuksia tämän määräyksen kohtien 3.1.11 a), 3.1.11 d), 3.1.16 a), 4.7 ja 4.9 vaatimuksista yllättävissä ja kii-reellisissä tilanteissa tai ajallisesti rajattujen toiminnallisten tarpeiden vuoksi, jos ne eivät vaaranna turvallisuutta.
- 5.2 Liikenteen turvallisuusvirasto voi hakemuksesta myöntää poikkeuksia tämän määräyksen vaatimuksista tilapäisesti testaus- ja tutkimustoimintaan, jos haetut poikkeukset eivät vaaranna turvallisuutta.
- 5.3 Hakijan on poikkeusta hakiessaan esitettävä:
- a) kirjallinen turvallisuusarviointi, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
 - b) Liikenteen turvallisuusviraston pyytäessä kirjallinen toimintaohjeistus, joka sisältää kuvauksen normaalitoiminasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa.

Esimerkkikuva 1



Esimerkkikuva 2



Esimerkkikuva 3

