

Droonilla suoritettun metsänkar- toituksen ilmakuvausprosessi ja tuottavuus

Matias Koskinen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2024

Metsätalouden tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden tutkinto-ohjelma

KOSKINEN, MATIAS:

Droonilla suoritetun metsänkartoituksen ilmakehuvausprosessi ja tuottavuus

Opinnäytetyö 34 sivua
Kesäkuu 2024

Metsätaloudessa hyödynnetään paljon kaukokartoitusaineistoa. Pelkästään avointa metsävaratietoa on olemassa laajalti koko Suomesta, mutta avoimen kaukokartoitusaineiston laadussa ja etenkin ajantasaisuudessa on paljon parannettavaa.

Tämän takia Stora Enso Metsä tutkii ja kehittää entistä tarkempia ja tehokkaampia kaukokartoitusmenetelmiä laadukkaana metsäsuunnittelun tueksi. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin droonilla suoritetun metsänkartoituksen ilmakehuvausprosessi sekä ilmakehuvauksen tuottavuus.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin ilmakehuvausaineistoa kesältä 2022, jolloin Stora Enso Metsä suoritti Drone-kehityshankkeen Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueella. Kehityshankkeen aikana kuvatuista alueista tallennettiin avainlukuja, joiden perusteella on tutkittu prosessin tehokkuutta.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin vuokaavio, jossa esitellään läpi lentoprosessin eri vaiheita. Kaavion lisäksi prosessin kulkua on käsitelty kirjallisesti työn tuloksissa. Ilmakehuvausprosessista tehtiin taulukko, jossa on esitetty prosessin ja tuottavuuden avainlukuja kokonaisuudessaan.

Tulosten perusteella tehokkuutta ja tuottavuutta saadaan kehitettyä etenkin kaukokartoituksen järkevällä suunnittelulla sekä kartoitukseen sopivimman kaluston valitsemisella. Tuloksena saatuja tietoja tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään eri kaukokartoitusmenetelmiä vertailtaessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Forestry

KOSKINEN, MATIAS:

The Aerial Photography Process and Productivity of Forest Mapping Conducted with a Drone

Bachelor's thesis 34 pages
June 2024

Remote sensing data is used frequently in forestry. There is a great deal of open forest information available widely throughout Finland. However, there is much to be improved with quality and updating of open data.

Because of the need for improvements, Stora Enso Metsä is researching and developing new ways to produce remote sensing data which is even more accurate and more efficient for high-quality forest planning. The aerial photography process and the productivity of aerial mapping are clarified in this thesis.

The data for this thesis is from Drone development project, which was executed by Stora Enso Metsä in the Northern Ostrobothnia and Kainuu regions in 2022. During the development project, key figures were recorded and listed. Based on those figures the efficiency of the mapping can be calculated.

As a result of the thesis, a flowchart was created, which illustrates the aerial photography process. The efficiency of the whole process is shown in the table that was created based on the key figures.

According to the results, efficiency and productivity can be developed especially with careful planning while choosing the targets and the most suitable equipment for mapping. The results of this thesis can be used to compare different remote sensing methods.

Key words: mapping, aerial photography, drone

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	METSÄN MITTAUS JA KAUKOKARTOITUS	7
2.1	Metsän mittaus	7
2.2	Kaukokartoitus	7
2.3	Kaukokartoitusmenetelmät.....	9
2.3.1	Ilmakuvaus	9
2.3.2	RGB, Hyper- ja multispektri	12
2.3.3	Satelliittikuvaus.....	13
2.3.4	Laserkeilaus	14
2.4	Drooni	15
2.4.1	Multikopteri	16
2.4.2	Kiinteäsiipinen drooni	16
2.4.3	Hybrididrooni	16
2.4.4	Parrot Anafi Ai	17
2.4.5	Trafin lupamenettely droonien lennätyksestä	18
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	21
4	TULOKSET	24
4.1	Ilmakuvausprosessi.....	24
4.2	Tuottavuus	26
5	POHDINTA	31
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Laadukkaan metsäsuunnitelman tueksi tarvitaan metsävaratietoa. Metsävaratietoa on aina hyödynnetty siinä määrin, kun sitä on ollut saatavilla. Vuonna 2018 metsätietolakia päivitettiin, jolloin Suomen metsäkeskuksen keräämät ympäristötiedot tulivat kaikille julkisiksi.

Uudistuksen myötä avointa metsävaratietoa ja etenkin kaukokartoitusaineistoa on alantoimijoille aiempaa helpommin saatavilla. Esimerkiksi tietoa on saatavilla kasvupaikasta, puustosta, vesiensuojelusta sekä erityisistä elinympäristöistä huolimatta siitä, että omaa kartoitusta ei olisi kyseisellä alueella tehty. (Laki Suomen metsäkeskuksen metsätietojärjestelmästä 2011; Metsäkeskus. n.d.)

Avoimissa kaukokartoitusaineistoissa ongelmina ovat kuitenkin tiedon ajantasaisuus, paikallinen kattavuus, sekä tarkkuus. Alati kasvava tarve entistäkin tarkemmille kaukokartoitustiedoille ajaa metsäsektorin toimijoita kehittämään uusia, sekä aiempaa tehokkaampia kaukokartoitusmenetelmiä. Tästä johtuen alalla on alettu koko ajan enenevässä määrin hyödyntämään droneja metsänkaukokartoituksessa tuotettavan tiedon saamiseksi.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsänkartoituksen ilmakehuvausprosessia ja sen tuottavuutta dronilla suoritettuna. Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa kaa-vio ilmakehuvausprosessista multikopterilla, sekä selvittää prosessin tuottavuuteen liittyvät avainluvut, jotta saadaan selville tuotetun kaukokartoitustiedon tuotos ja tehokkuus. Tutkimuksen tuloksia voidaan tulevaisuudessa käyttää vertailuaineistona erilaisille dronimalleille, esimerkiksi muille multikoptereille tai VTOL-drooneille.

Lentoprosessin ja tuottavuuden selvityksen lisäksi opinnäytetyössä käydään läpi eri kaukokartoitusmenetelmiä etenkin ilmakehuvaukseen liittyvää teoriaa, siihen tarvittavaa kalustoa, sekä siihen liittyviä asetuksia ja lainsäädäntöä.

Tutkimuksessa hyödynnetään Stora Enso Metsän vetämän Drone-kehityshankkeen tuloksia ja lentopäiväkirjoista saatuja tietoja. Tutkimuskohteena ovat muun

muassa lentoaika, lennetty pinta-ala ja lentämiseen liittyvä oheistoiminta, kuten kohteelle siirtyminen. Tietoja tarkastelemalla selviää, miten tuotettu aineisto vastaa tämän hetken tarpeisiin ja onko siitä hyötyä työn tilaajalle.

Edellä mainittu Drone-kehityshanke suoritettiin vuonna 2022 Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueella. Pilottihankkeessa keskityttiin pääosin myrskytuhoalueiden kuvaamiseen ja mittaamiseen multikopterilla, jotta myrskyn aiheuttamat vahingot ja muuttuneet puustotiedot saataisiin mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti päivitettyä.

2 METSÄN MITTAUS JA KAUKOKARTOITUS

2.1 Metsän mittaus

Metsistä saadaan hankittua, sekä tuotettua paljon erilaisia hyödykkeitä ja palveluita. Jotta näiden tuottaminen olisi mahdollisimman tehokasta ja kestävä, tulee metsäekosysteemin tuotantotekijät olla tarkasti metsäsuunnittelijan tiedossa. Metsäsuunnittelun pohjaksi tarvitaan tietoa esimerkiksi metsikön tilasta, puustosta ja maaperästä.

Metsänmittaus kohdistuu näiden tunnusten mittaamiseen; etenkin puustotunnukset, kuten pituus, läpimitta, pohjanpinta-ala, tilavuus ja ikä ovat tärkeitä elementtejä metsäsuunnittelun kannalta. Metsänmittausta tehdään perustamalla koealoja kohteena olevaan metsikköön, joista voidaan yleistää mittaustulos vastaamaan metsäalueen puuston tilaa. Suurempien alueiden kartoituksessa perinteisen ihmistyönä tehtävän mittauksen tukena hyödynnetään enenevässä määrin myös kaukokartoitusta.

2.2 Kaukokartoitus

Kaukokartoitus, jota kuvaa paremmin englanninkielinen termi ”remote sensing” eli kaukohavainnointi, tarkoittaa sähkömagneettisten aaltojen kohteen tunnistamista, sen määrän, laadun tai tilan arviointia, sekä ominaisuuksien mittaamista. Kaukokartoitukseen kuuluu myös tavallinen valokuvaus, ja jopa tähtitiede, mutta yleisemmin kaukokartoitustermillä tarkoitetaan maan havainnointia ilmasta käsin. (Auvinen, Pukkala, Vesa. 1997, 61.)

Erilaisilla aineilla, kuten eri maastokohteilla on erilaisia ominaisuuksia, kuten erilaiset fysikaaliset ja geometriset ominaisuudet, minkä takia ne heijastavat sähkömagneettista säteilyä eri tavalla. Säteilyn havainnoinnin lisäksi kaukokartoitus kattaa myös saadun aineiston jatkokäsittelyn. (Pukkala 1988, 4.)

Kaukokartoituksen tueksi tarvitaan usein myös maastossa tehtyjä referenssimittauksia. Näin saadaan tietoa kaukokartoituksen tulkinnan avuksi, sekä mittalaitteiden kalibroimiseksi ja tutkintatuloksen oikeellisuuden varmistamiseksi. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011, 129.)

Kaukokartoituksessa saatava tieto on alueellisesti jatkuvaa, jonka ansiosta sillä saadaan katettua laajojakin alueita nopeasti. Kaukokartoituksessa on merkittävää myös se, että kaukokartoitusmenetelmästä riippuen havainnoinnin kohteesta saadaan tuotettua omiin tarpeisiin soveltuvia erilaisia tuotteita, esimerkiksi visuaalinen kuva, 3d-malli tai kartta. Tämä mahdollistuu sillä, että erilaisilla sensoreilla havaitaan eri asioita esimerkiksi multispektrikameralla kohteesta tehdään havaintoja myös ihmissilmälle näkymättömillä aallonpituusalueilla. (Kangas ym. 2011, 129.)

Metsätalouden saralla kaukokartoitusta tehdään, koska se on tuottavin ja tehokkain tapa kerätä tietoa metsistä. Kartoitusta on mahdollista tehdä keskittyen yksittäisiin puihin, tai tietyn kokoisiin ja muotoisiin koeloihin, metsikkökuvioihin tai laajempiin metsäisiin alueisiin. Erilaisille metsäalueille tarvitaan erilaisia mittauksia ja niiltä vaaditaan eri tarkkuutta.

Aluepohjainen tulkinta toimii laajoilla alueilla kuten Luonnonvarakeskuksen tuottamassa valtakunnan metsien inventoinnissa. Aluepohjaista tulkintaa tarkempi yksinpuintulkinta kuvaa yksityiskohtaisemmin metsikön tilaa ja on tarpeen, kun tarvitaan tietoa esimerkiksi arvokkaista tukkipuista, eikä niinkään koko metsikön puustosta. Esimerkiksi droneja on hyödynnetty paljon yksinpuintulkinnassa, mutta tulevaisuudessa mahdollisesti myös valtakunnan metsien inventoinnissa tullaan hyödyntämään sekä yksinpuintulkinta-menetelmää, että aluepohjaista tulkintaa. (Maanmittauslaitos 2023)

Nykyaikaista kaukokartoitustietoa on mahdollista käyttää metsäsuunnittelun, metsien inventoinnin, puunhankinnan strategisen ja operatiivisen suunnittelun pohjana. Tietoa hyödynnetään myös puunkorjuussa, kuljetuksessa, metsäkiinteistöjen hallinnoinnissa, arvonmäärityksessä, metsänhoitotöiden suunnittelussa sekä luonnon monimuotoisuuteen liittyvien biotooppien/ekosysteemien kartoittamisessa. (Kangas ym. 2011, 141.)

Kaukokartoituksella tehdyn mittauksen avulla vältetään myös inhimillistä virhettä, mitä väistämättä syntyy ihmisen mitatessa puustoa, kun numeerisella kaukokartoitusaineistolla tehdyt analyysit ovat täysin objektiivisia. (Kangas ym. 2011, 129) Erityisesti laserinventointi tuottaa tarkkaa tietoa puuston pituudesta ja tilavuudesta, varsinkin tasaisilla kuvioilla, missä puuston vaihtelu ei ole kovin suurta. Maastoarvioinnissa kokonaistilavuuden keskivirhe on yleensä 15-25 %, mutta laserinventoinnissa päästään usein tarkempaan tulokseen. Laserkeilauksessa ongelmia kuitenkin tuottaa monijaksoisuus, puulajivaihtelu, etenkin jos puuyksilöitä on vähän, iän määrittäminen, sekä taimikoiden mittaus. Puustotietojen lisäksi esimerkiksi erityisen tärkeiden elinympäristöjen kuvaamisessa on haasteita, luonnontilaisuuden ja muista alueista poikkeavan kasvillisuuden takia. (Tiedon laatu n.d.)

2.3 Kaukokartoitusmenetelmät

Tarvittavan aineiston ja tiedon tuottamiseksi on olemassa monia eri menetelmiä. Erilaisilla kaukokartoitusmenetelmillä saadaan tuotettua erilaisia aineistoja ja menetelmät eroavat käytettävyydessään suuresti. Tässä opinnäytetyössä keskitytään keskeisimpiin ja tutkimuksen kannalta oleellisimpiin kaukokartoitusmenetelmiin, joita ovat ilma- ja satelliittikuvaus sekä laserkeilaus.

2.3.1 Ilmakuvaus

Yksi kaukokartoituksen muodoista on ilmakuvaus. Ilmakuva on lentokoneesta, kuumailmapallosta, tai vaikkapa dronista kartoituskäyttöön sopivalla sensorilla otettu kuva maastosta. Kuvat ovat kartoitus käyttöön soveltuvia pystykuvia, joista voidaan jalostaa mittatarkkoja ortokuvia. Kuvalla näkyvän kohteen sijaintitarkkuus ei ole aina täysin tarkka vaan geometristä virhettä muodostuu johtuen maaston korkeuseroista ja keskusprojektiosta. Virhe on siis pienin kohtisuoraan sensorin alla ja suurimmillaan kuvausalueen reunoilla. Ilmakuvan tarkkuus, koko ja laajuus riippuvat kamerasta, kuvausmittakaavasta, kuvauskorkeudesta, sekä maastoerotuskyvystä (GSD). Ilmakuvista valmistetaan stereomallit ja ortokuvat, joita hyödynnetään maaston kartoituksessa ja esimerkiksi stereoskooppisen kuvatulokinnan avulla saadaan laadittua korkeuskäyrät. (Maanmittauslaitoksen ilma-kuva n.d.)

Suomessa ilmakekus toteutetaan perinteisesti lentokoneesta lentokorkeuden vaihdella 1000 - 9000 m. (Auvinen ym. 1997, 79.) Tulkinta ja kartoituslentoja tehdään nykyään myös droneilla, jolloin etenkin kuvauskorkeudessa on suuria eroja. Esimerkiksi tällä hetkellä droneilla lennettäessä avoin-kategoriassa suurin mahdollinen kartoituslentokorkeus on 120 metriä. (Droneinfo 2024.)

Ilmakekus suoritetaan siten, että lennokka lentää ennalta määriteltyä lentoreittiä ja linjaa pitkin ottaen kuvia kohtisuoraan alaspäin, niin että kuvat menevät osittain päällekkäin. Kuvia tulisi ottaa riittävän tiheästi, niin että pituuspeitto olisi noin 60%. Tämä mahdollistaa kuvien stereotarkastelun, koska nyt samasta maastonkohdasta on kaksi eri kohdasta otettua kuvaa. (Auvinen ym. 1997, 80.) Lentoreittiä suunniteltaessa tulee huomioida, että lentolinjat kulkevat tarpeeksi läheltä toisiaan, jotta kuvien sivupeitto olisi riittävä. Sivupeitto tarkoittaa samaa, kuin pituuspeitto, mutta sivusuunnassa tarkasteltuna.

Metsänkartoituksessa sopiva ja riittävä sivupeitto on noin 30-40%. Pituus- ja sivupeitto on metsänkartoituksessa tärkeää, koska sen avulla voidaan varmistua siitä, että koko kuvattava alue tulee varmasti katettua ja saadut kuvat ovat riittävän tarkkoja, kun kuvien reuna-alueita ei tarvitse välttämättä hyödyntää. Pystykuvia ottaessa kuviin tulee väistämättä säteissiirtymää, jonka takia kohteet kauimpana kuvan keskipisteestä näyttävät kallistuvan sivulle päin. (Auvinen ym. 1997, 80-81.)

Metsän ilmakekuvaukselle on yleisesti asetettu laatuvaatimuksia, jotta kartoitustiedosta saadaan riittävän tarkkaa metsätalouden ja metsänhoidon tarpeisiin. Pituuspeiton tulee olla 55-65% ja sivupeiton 20-40%. Kuvakallistus saisi olla maksimissaan 5°, kun kohtisuoraan alaspäin nadiiripisteeseen otetun kuvan kuvakallistus on 0°. (Auvinen ym. 1997, 82.)

Lisäksi tärkeää ilmakekuvauksessa on se, että sääolosuhteet olisivat otolliset ilmakekuvaukselle. Ilmakekuvaukselle otollisin sää on kirkas, valoisa ja pilvinen. Auringon paistaessa ilmakekus tulisi suorittaa silloin, kun auringon korkeuskulma on vähintään 33° eli auringon ollessa mahdollisimman korkealla, jotta maastokohteiden varjot pysyisivät maltillisen kokoisina, kuitenkin maksimissaan 1,5 -kertaisina

kohteen kokoon nähden. (Auvinen ym. 1997, 91.) Kuvauksien ajoittaminen riippuu myös paljon halutuista tuotteista ja tiedoista. Kasvillisuuden ja maaston kontrastierot näkyvät selvimmin ennen lehtien puhkeamista aikaisin keväällä, kun taas esimerkiksi lehtipuuston erottaminen ilmakuvista edellyttää, että lehtien ja kasvillisuuden kehitys on riittävän pitkällä.

Valon aallonpituusalueet vaikuttavat ilmakuviin laatuun, koska ilmakehä absorboi, hajottaa ja muuttaa säteilyä ja sen spektristä jakaumaa. Erilaiset ilmakehässä olevat molekyylit absorboivat eri tavalla ja myös eri aallonpituusalueet reagoivat tähän eri tavoin. Ilmakehän yleisenä vaikutuksena säteilyyn on sen vaimentaminen sekä kontrastien pienentyminen. Parhaiten ilmakehää läpäiseviä aallonpituusalueita kutsutaan ilmakehän ikkunoiksi ja näitä hyödynnetään kaukokartoituksessa. Yleisesti käytettyjä ikkunoita ovat esimerkiksi näkyvän valon ja lähi-infran ikkuna. (Kangas ym. 2011, 131.)

Säteilyn aallonpituusalue, sekä kohteen ominaisuudet vaikuttavat heijastukseen. Erilaiset heijastussuhteet muodostavat ominaissäteilystä kuvaajan, mikä on ominainen aina kuvattavalle kohteelle. Esimerkiksi näkyvän valon alueella ominaissäteilyn kuvaaja esittää kohteen erilaisina väreinä. Ominaissäteily eli spektraalinen sormenjälki on kohteen ominainen tapa heijastaa ja emittoida sähkömagneettista säteilyä. Kun mitattavan kohteen ominaissäteily tunnetaan, voidaan kohde tunnistaa ja paikantaa kuvilta. Ominaissäteilyyn vaikuttaa kuitenkin merkittävästi myös muut asiat, jotka osaltaan vaikeuttavat kaukokartoituksen perusteella tehtävää kohteiden tunnistusta. Näitä ovat mm. vuoden- ja vuorokaudenaika, sää, sekä auringon korkeus. (Kangas ym. 2011, 133.)

Ilmakuvauksessa kerätyn datan laadun mittareina käytetään tarkkuutta ja erotuskykyä. Geometrinen tarkkuus kertoo, kuinka hyvin sijoittuneena kohteet ovat kuvissa verrattuna todelliseen sijaintiin. Geometrinen- eli spatiaalinen erotuskyky puolestaan ilmaisee pienimmän mahdollisen kohteen koon, mikä on mahdollista erottaa kuvasta. Geometrinen erotuskyky rinnastetaan usein myös kuvan pikselikokoon. Muita käytössä olevia mittareita ovat radiometrinen, spektrinen ja temporaalinen erotuskyky. Radiometrinen erotuskyky havaitsee esimerkiksi sävyerot

kuvissa. Spektrinen erotuskyky ilmaisee säteilyn erilaisia aallonpituuksia. Temporaalinen erotuskyky kertoo säteilyssä tapahtuneista muutoksista eri aikaan otettujen kuvien välillä. (Kangas ym. 2011, 135.)

2.3.2 RGB, Hyper- ja multispektri

Kaukokartoituksessa hyödynnetään erikokoisia aallonpituuskaistoja, jotta saadaan yksilöllisempää ja tarkempaa tietoa kohteesta. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi hyperspektrillä saadaan kohteesta yksityiskohtaisempaa dataa, kuin RGB:llä, mutta toisaalta geometrinen erotuskyky on puolestaan heikompi. Myös kaistojen lukumäärän kasvaessa saatavan datan määrä kasvaa. Hyperspektrillä kuvatessa nähdään kohteesta huomattavasti enemmän, kuin mitä nähtäisiin pelkällä RGB:llä tai ihmissilmällä. (Auvinen ym. 1997, 64; GIS Geography 2024.)

Ilmakuvauksessa hyödynnetään usein väri- eli RGB -kameraa. Useimmat digikamerat ja esimerkiksi puhelimen kamerat ovat RGB -kameroita. Lyhenne RGB tulee väreistä, joita kameran anturi tallentaa eri valon aallonpituuksilta. Nämä värit ovat punainen (Red), vihreä (Green) ja sininen (Blue). Kamera kuvaa näkyvän valon alueelta eli 400-700nm, joka on sama, minkä myös ihmissilmä kykenee näkemään. Kuten ihmissilmä myös RGB -kamerat tarvitsevat ulkoisen valonlähteen ja niiden suorituskykyä heikentää huomattavasti esimerkiksi sumu tai hämärä. (Infiniti electro-optics, n.d.)

Samalla periaatteella, kuin RGB -kamera toimii myös multi- ja hyperspektrikamerat. Kun RGB:ssä on yksi kaista, on multispektrissä niitä 3-10 ja hyperspektrissä useita satoja aina tuhanteen kaistaan asti. RGB:ssä yksittäinen laaja kaista kattaa noin 300nm mittaiset aallonpituudet, kun multispektrikameralla yksittäinen kaista on noin 20-40nm ja puolestaan hyperspektrikameralla kaistanleveys voi olla esimerkiksi 10-20nm. (GIS Geography 2024.)

Multi- ja hyperspektri kameroilla varustettuja droneja voidaan hyödyntää esimerkiksi puulajien tunnistuksessa (Mäyrä ym. 2021). Puulajien tunnistamisen lisäksi Suomessa esimerkiksi Luonnonvarakeskus on tehnyt tutkimuksia siitä, kuinka multispektrillä voidaan kartoittaa kirjanpainajatuhoja kuusikoissa. Tutkimuksessa tarkasteltiin tarkkuuspaikantimella ja multispektrikameralla varustetun droonin

sekä satelliitin tuottamaa kuvaa tuhoalueelta. Sentinel-2-satelliitti kuvaa metsikön kahdesti viikossa ihmisen näköalueen aallonpituuksilla. Droonilla puolestaan pystytään lentämään alue niin usein, kuin on tarpeen ja multispektrikameralla lähi-infrapunan alueella kuvatut puut voidaan havaita metsiköstä jos puuyksilön elintoiminnot alkavat heikentymään. Tämä varhainen havainto kirjanpainajasta antaa metsänhoidolle elintärkeitä vaihtoehtoja ja aikaa metsän tulevaa käsittelyä varten. (Huitu, Lopatin & Ylioja 2021.)

2.3.3 Satelliittikuvaus

Metsien kaukokartoituksessa on pitkään hyödynnetty satelliittikuvausta. Maata kiertäessään satelliitit tallentavat tietoa samasta kohteesta säännöllisin väliajoin. Satelliitit kattavat erittäin laajoja alueita kerrallaan, minkä ansiosta satelliittikuvaus tulee suhteellisen halvaksi pinta-alayksikköä kohden, verrattuna muihin kaukokartoitusmenetelmiin. (Auvinen ym. 1997, 106.)

Satelliittikuvien avulla voidaan seurata metsikön ajallisia muutoksia helposti toistuvuutensa ansiosta. Satelliittikuvaus mahdollistaa esimerkiksi myös vaikeasti tavoitettavien ja hankalasti muilla tavoilla kartoitettavien alueiden kaukokartoituksen. Satelliitteja on hyödynnetty jo 1970-luvulta alkaen, kun ensimmäinen operatiivinen satelliittiohjelma Landsat käynnistettiin. Nykyään kaukokartoituksessa hyödynnetään vastaavaa Eurooppalaista Copernicus-satelliittijärjestelmää, mikä on ollut toiminnassa vuodesta 2015 alkaen. (Satelliittikaukokartoitus n.d.)

Copernicus-järjestelmä on rahoitettu Euroopan unioniin kuuluvien valtioiden julkisin varoin, jonka johdosta satelliittidata on ilmaista ja kaikille avoinna olevaa dataa. Satelliittidatan avulla saadaan lisää tietoa kasvillisuuden tilasta, vedenkierrosta, eri ekosysteemien toiminnasta ja esimerkiksi ilmastonmuutoksen aiheuttamista muutoksista. Satelliitin tuottamaa dataa voidaan hyödyntää useilla eri aloilla, kaupunkisuunnittelusta metsänhoitoon. (Copernicus. n.d.)

Metsänkartoitukseen tuotetut kuvat, esimerkiksi metsätyypin määrittelyä, tai puuston peitteisyyden arvioimista varten, esitetään 10 metrin pikselikoossa, eli aineiston geometrinen erotuskyky on 10 m. (European image mosaic. n.d.)

Julkisten satelliittien lisäksi voidaan hyödyntää kaupallisia kaukokartoitusatelliitteja, joilla voidaan saavuttaa tarkempi geometrinen erotuskyky. Tällöin alueellinen kattavuus usein vastaavasti heikkenee (Satelliittikaukokartoitus n.d).

Satelliittien spektrinen erotuskyky on kuitenkin usein hyvä, koska näkyvän valon lisäksi satelliittikuviin tallentuu tietoa myös muilta aallonpituusalueilta. (Auvinen ym. 1997, 106.) Kuitenkin satelliittikuvien ajantasaisuuden ja geometrisen erotuskyvyn puutteiden takia on alettu etsimään metsänkartoitukseen paremmin soveltuvia vaihtoehtoja, kuten dronilla suoritettua kaukokartoitusta.

Suomen Metsäkeskus, Metsäteho Oy ja Teknologian tutkimuskeskus tutkii Kesotäsmä-hankkeessaan eri menetelmiä täsmämetsätalouden käyttöön. Tutkimuksessa hyödynnetään eritasoisia satelliittikuva-aineistoja, dronikuvia ja -keilausta ja niiden käyttömahdollisuuksia. Hankkeessa hyödynnetään tarkkoja satelliittikuvia, sekä ilmaiseksi saatavia Copernicus-ohjelman satelliittikuvia. Satelliittikuvien avulla nähdään esimerkiksi hakkuissa säästettyjen säästöpuiden tilanne, sekä taimikkojen kehitys. (Metsäkeskus 2024.)

Drooneilla tuotetulla aineistolla saadaan tarkkaa dataa yksittäisistä puista, jota voidaan verrata maastossa tehtyihin mittauksiin. Alustavien tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että dronilla tuotetut mittaukset ovat luotettavia, etenkin puuston pituuden osalta. Havaintojen mukaan dronilla toteutettu fotogrammetrinen mitaus on vain hieman epätarkempi, kuin dronilla keilaamalla saatu tulos. Puustotunnusten lisäksi dronien tuottamasta aineistosta saadaan tietoa myös riistatieteistä, pienvesien- ja muiden elinympäristöjen suojakaistoista ja niiden sijainnista. (Metsäkeskus 2024.)

2.3.4 Laserkeilaus

Kaukokartoituksessa merkittävä osa saatavasta tiedosta tuotetaan laserkeilauksen avulla. Sillä saadaan mallinnettua esimerkiksi pinnanmuotoja, sekä kasvillisuutta. Laserkeilain on lentokoneessa, helikopterissa tai dronissa oleva laseritutka eli LiDAR (Light Detection and Ranging). Laserkeilain tuottaa kolmiulotteista informaatiota, luomalla keilatusta alueesta geometrisesti tarkan pistepilven. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta. 2013, 11-13)

LiDARista lähtee laserpulssi, joka osuu kohteeseensa ja palaa takaisin, jolloin etäisyys tähän osumapisteeseen saadaan mitattua laserpulssin kulkuajan pohjalta. Tietämällä lasertutkan asento ja sijainti jokainen laserpulssia vastaava etäisyys voidaan muuttaa x-,y- ja z-kordinaateiksi, jolloin pistepilvi saadaan muodostettua. (Holopainen ym. 2013, 11-13)

Pistepilvien prosessointiin ja luokitteluun on tehty paljon erilaisia malleja, kutakin käyttötarkoitusta varten. Useimmin käytettyjä ovat mm. maanpinnan maastomalli DTM (Digital Terrain Model), sekä puuston korkeutta kuvaava malli CHM (Canopy Height Model). (Holopainen ym. 2013, 11-13)

Lentolaserkeilaus on aktiivinen kaukokartoitusmenetelmä, eli se ei vaadi aurinkosta tulevaa sähkömagneettista säteilyä toimiakseen, kuten passiiviset menetelmät, esimerkiksi ilmakuvaus. Tämän takia laserkeilaus ei ole sidottu tiettyyn vuorokauden- tai vuodenaikaan. (Holopainen ym. 2013, 11-13)

Suomessa metsävaratietoa päivitetään kansallisella laserkeilausohjelmalla kuuden vuoden välein (Tiedon ajantasaisuus n.d.). Aineiston ajantasaisuuden vuoksi keilaukseen soveltuvia drooneja hyödynnetään kaukokartoitusaineiston päivittämiseksi. Esimerkiksi YellowScan valmistaa lukuisia eri laserkeilaimia, joita voidaan sijoittaa kätevästi myös drooniin. Näin saadaan laserkeilausaineisto päivitettyä nopeasti ja helposti. (YellowScan n.d.)

2.4 Drooni

Drooni tarkoittaa miehittämätöntä ilma-alusta (UAV=Unmanned aerial vehicle) tai miehittämätöntä ilma-alusjärjestelmää (UAS= Unmanned aerial system). Drooneja on eri kokoisia ja eri painoluokissa riippuen niiden käyttötarkoituksesta, aina muutamista grammoista jopa useisiin tuhansiin kiloihin. Myös droonityyppejä on useita mm. moniroottorinen multikopteri, sekä kiinteäsiipinen drooni. (Droneinfo 2023.)

2.4.1 Multikopteri

Multikopteri on etenkin kuluttajakäytössä huomattavasti yleistynyt ja tyypillisesti dronista puhuttaessa tarkoitetaan juuri tällaista multikopteria, jossa on kaksi tai useampi roottori. Usein näissä on neljä roottoria, jotka pyörivät pareittain, toinen pari myötäpäivään ja toinen pari vastapäivään. Tällä tavoin potkurien kiertovoimat kumoavat toisensa ja mahdollistavat dronilla lentämisen, hyvän ohjattavuuden ja hallinnan. Tämän ansiosta multikopterilla pystyy nousemaan ja laskeutumaan pystysuoraan sekä leijumaan paikoillaan. Eteenpäin mentäessä vauhti on verrattain hidas muihin dronityyppeihin verrattuna. (Droneinfo 2023.)

2.4.2 Kiinteäsiipinen droni

Toinen tyypillinen dronimalli on kiinteäsiipinen droni, jossa on nimensä mukaisesti kiinteät siivet ja näin ollen se käyttäytyy enemmänkin lentokoneen, kuin helikopterin omaisesti. Kiinteäsiipisiä drooneja on eri mallisia, mutta kaikissa nostovoiman muodostaa potkurien sijasta siipi, riittävällä lentonopeudella. Tämän takia kiinteäsiipiset dronit ovat huomattavasti nopeampia verrattuna multikoptereihin ja niiden lentoaika on usein myös paljon pidempi, mikä sopii paremmin laajempien alueiden kartoittamiseen ja mittaamiseen. (Droneinfo 2023.)

2.4.3 Hybrididroni

Näiden kahden yleisen dronimallin, multikopterin ja kiinteäsiipisen dronin, pohjalta on kehitetty myös kiinteäsiipisiä hybrididrooneja. Tällaisista drooneista käytetään yleisesti lyhennettä VTOL (Vertical Take-Off and Landing). VTOL -droni tarkoittaa dronityyppiä, joka pystyy nimensä mukaisesti roottorien avulla nousemaan ja laskeutumaan vertikaalisesti.

Koska VTOL -dronit hyödyntävät lentäessään siipien muodostamaa nostovoimaa, eivätkä lennä Parrotin tavoin roottorien varassa on VTOL -drooneissa yleisesti huomattavasti suurempi huippunopeus ja pidempi lentoaika ja kantama. Usein VTOL -dronit ovat myös kooltaan multikoptereita suurempia, siinä missä Parrot painaa alle yhden kilogramman, voi VTOL -droni painaa akkuineen ja varusteineen jopa 10 kg. Suurempi kantokapasiteetti mahdollistaa useiden eri

sensorijärjestelmien liittämisen droniin yhtäaikaaisesti. On huomioitava, että on olemassa myös suurempia multikoptereita. Niitä käytetään esimerkiksi metsänlannoituksessa. (Droneinfo 2023; Geotrim n.d.)

2.4.4 Parrot Anafi Ai

Opinnäytetyön kohteena olevan dronin tuottavuutta ja käytettävyyttä saadaan parhaiten kuvattua tarkastelemalla tilannetta konkreettisten lentotietojen pohjalta. Tässä opinnäytetyössä tutkimuskohteena toimii Parrot Anafi Ai, jolla Stora Enso Metsä on useampana kesänä tuottanut kaukokartoitusdataa.

Parrot Anafi Ai on lähes 900 grammaa painava nelilapainen multikopteri, joka on varustettu dronissa vakiona olevalla 48 megapikselin RGB -kameralla ja sitä liikuttelevalla gimbalilla. Parrotilla voidaan tuottaa ilmakuvaa, videota, sekä pano-raamakuvia. Parrotin toimimisen kaukokartoituksessa mahdollistaa FreeFlight7 -sovellus, jossa esimerkiksi tehdään lentosuunnitelmat sekä pix4D maastonmallinnussovellus. (Parrot 2023)

Laitevalmistajan mukaan Parrotin lentoaika yhdellä akulla on noin 32 minuuttia. Parrotin koko on noin 30cm x 45cm ja maksimi lentonopeus on noin 16m/s. (Parrot 2023)

Parrot on sertifioitu IP53 -luokkaan, missä määritellään sen veden ja tuulen kestävyys. Sertifiointin mukaan droni on suojattu enintään 60° kulmassa satavaa vettä vastaan ja lentäessään kestää tuulta maksimissaan 14m/s. Tämän ansiosta parrotilla pystyy suorittamaan ilmakuvausta myös kohtalaisella tuulella, käytännössä silloin kun tuulee alle 10 metriä sekunnissa. Pieni tihkusade ei haittaa lentämistä, mutta kuvaaminen vaikeutuu, jos kameran linssiin alkaa muodostumaan huurretta tai kerääntymään vettä. (Parrot 2023; Viranomainen n.d.)

Valmistajan mukaan dronin kantama on 22,5 kilometriä. Tämä on mahdollista droniin laitettavan SIM -kortin takia, jolloin droni itsessään voi olla yhteydessä 4G -verkkoon (Parrot 2023). Yleensä ohjaimen ja dronin välinen yhteys toimii

radiotaajuuksilla (Droneinfo 2023). Stora Ensolla laitetta lennätetään Trafín määrittämässä avoimessa kategoriassa, minkä mukaan pilotin on säilytettävä näköyhteys drooniin koko lennon ajan. Tämän vuoksi droonin maksimikantamaa ei ainakaan nykyisillä säädöksillä päästä hyödyntämään, vaan todellinen maksimimietäisyys droonin ja pilotin välillä on noin 2 kilometriä, maastonmuodoista, puustosta, sekä keliolosuhteista riippuen. (Stora Enso 2022).

Aiemmin mainittu avoimen kategorian säännös määrää myös maksimilentokorkeuden, joka on tällä hetkellä 120 metriä merenpinnan yläpuolella. Parrotilla voidaan lentää lain asettamassa maksimikorkeudessa, vaikka itse droonilla pystyisi lentämään huomattavasti korkeammallakin. (Droneinfo 2024).

Kaukokartoituksen kannalta on tärkeää lentää mahdollisimman korkealla, kuitenkin niin, että saadaan kriteerit täyttävää dataa. Parrotin kameralla kuvien laatu ja tarkkuus on riittävä metsänkartoituksen tarpeisiin 120 metrin korkeudelta. Laittevalmistaja kertoo, että Parrotin 48-megapikselin kameralla GSD on 30 metrin korkeudesta 0,46cm/px. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen pikseli vastaa 0,46cm X 0,46cm aluetta maastossa. Parrotin ilmoittamalla sensorin tiedoilla ja Parrotin kanssa käytettävällä kartoitusohjelmiston PIX4d tarjoamalla laskurilla saadaan GSD luvuksi 120m korkeudelta 1,96cm/px. (Parrot 2023; PIX4D n.d.)

2.4.5 Trafín lupamenettely droonien lennätyksestä

Suomessa Liikenne- ja viestintävirasto Traficom vastaa ilmailuun ja drooneihin liittyvistä lupa- ja rekisteriasioista. Lupa-asioita ohjaa pääasiassa Ilmailulaki 7.11.2014/864, sekä Euroopan komission asetus 2019/945 ja 2019/947.

Lait ja asetukset tulevat todennäköisesti muuttumaan lähivuosina, koska droonit, etenkin ilman näköyhteyttä operoivat BVLOS -droonit (Behind Visual Line Of Sight), ovat vielä verrattain uusia. Drooneja ja niiden toimintaa tullaan edelleen kehittämään. (Droneinfo n.d.) Toisaalta myös metsäalan toimintatavat ovat jatkuvassa muutoksessa, mikä vaikuttaa droonien ja niiden käytön vaatimuksiin.

Suomen Liikenne- ja viestintävirasto Traficom mukaan lennätettäessä yli 250 gramman painoista tai kameralla varustettua dronia, tulee tämän olla aina rekisteröity. Dronin rekisteröinnin lisäksi lento-oikeudenhaltijan tulee rekisteröityä dronin operaattoriksi. Lisäksi lentäjän tulee useissa tapauksissa suorittaa vähintään A1/A3-luokan teoriakoe, jotta saa lentolupakirjan. Lennätettäessä muissa kategorioissa on vielä erikseen teoriakokeet, esimerkiksi A2 lisäteoriakoe. (Droneinfo 2024)

Traficom määrittelee droneinfo.fi sivullaan erilaisia kategorioita, joissa määritellään toiminnan luvanvaraisuus, sekä esimerkiksi pilotin koulutusvaatimukset. Käytössä on kolme eri kategoriaa; avoin, erityinen ja sertifioitu. Avoimen kategorian toiminnan vaatimuksina on:

- Suurin sallittu lennätyskorkeus 120 metriä maan tai veden pinnasta
- Toiminnan on perustuttava suoraan näköyhteyteen (VLOS)
- Vaarallisten aineiden kuljettaminen ja esineiden pudottaminen kielletty
- Miehitämätön ilma-alus on pidettävä turvallisen välimatkan päässä ihmisistä eikä sitä lennätetä ihmisjoukkojen yläpuolella
- Toiminnassa on huomioitava ilmailun kielto-, rajoitus- ja vaara-alueet sekä UAS-ilmatilavyöhykkeet
- C-merkintä dronessa (huomioi poikkeukset)

Näiden lisäksi avoin kategoria jaetaan vielä kolmeen (A1, A2, A3) alakategoriaan, missä määritellään vielä tarkemmin mm. eri dronimallien luvanvaraisuus ja operaattoreihin liittyvä säännökset. (Droneinfo 2024) Tämän lisäksi on vielä kaavio eri C-merkinnöistä, joista tuli pakollisia droneissa 1.1.2024 alkaen, jotta niitä voidaan käyttää avoimessa kategoriassa (Muutoksia dronen lennättämiseen 1.1.2024 alkaen. 2023)

Jos dronilla suoritettavaa toimintaa ei ole mahdollista toteuttaa avoimen kategorian säädösten puitteissa voidaan toimia myös erityinen- tai sertifioitu-kategoriassa. Erityinen kategoriassa toimiakseen tulee hakea toimintalupaa ennakoriskiarvion (PDRA) tai oman (SORA) riskiarvioinnin, tai vakioskenaarion (STS) pohjalta. Lupa tarvitaan aina, oli kyse sitten yksityishenkilöstä tai yritystoiminnasta. (Luvanvarainen toiminta Erityinen-kategoriassa 2024.)

Sertifioitu-kategoria kattaa toiminnan harjoittamisen, jos kyseessä on ”ihmisen kuljetus, vaarallisten aineiden kuljetus, ihmisjoukkojen yllä tapahtuvat lennot isommilla miehittämättömillä ilma-aluksilla (>3m) tai SORA-riskiarvioinnin perusteella riskiä ei voida riittävästi lieventää.”. (Luvanvarainen toiminta Erityinen-kategoriassa 2024.)

Parrotilla suoritetaan kaukokartoitusta avoimessa kategoriassa, koska sen toiminta täyttää avoimen kategorian ehdot. Avoimen luokan toiminta perustuu siihen, että drooni itsessään täyttää avoimen luokan vaatimukset painon suhteen. Toiminta ei vaadi minkään aineen kuljettamista droonilla ja sitä suoritetaan harvaan asutulla alueella. Tämän lisäksi toiminnassa maksimi lentokorkeus on 120 metriä ja kauko-ohjaaja säilyttää katkeamattoman näköyhteyden drooniin kulkiessaan kartoitettavalla alueella droonin suorittaessa ilmakuvausta.

Jos halutaan harjoittaa lentotoimintaa ilman suoraa näköyhteyttä, vaatii tämä huomattavasti enemmän toimenpiteitä. Silloin tulee hakea esimerkiksi erityinen-kategoria lupaa ennakoarvioidun riskitapauksen PDRA-GO1, PDRA-GO2 tai PDRA-GO3 pohjalta. (Tietoa ennakkoriskiarviosta (PDRA) 2023).

PDRA-GO1 riskitapauksessa droonin ominaismitta voi olla 3 metriä ja kineettinen törmäysenergia enintään 34kJ. Droonia voidaan lennättää ilman näköyhteyttä tähytäjän kanssa kahden kilometrin päässä ohjaajasta harvaanasutulla alueella. Tässä riskitapauksessa operaattorin tulee määrittää varailmatila, sekä maaris-kibufferisäännön (1:1=lentokorkeus/vaakaetäisyys) mukaisesti. Maksimi lentokorkeutta on mahdollista nostaa 120 metristä 150 metriin, mutta tällöin riskien vähentämiseen tulee kiinnittää merkittävästi enemmän huomiota. Jotta toimintaa voidaan suorittaa, tulee operaattorilla olla koulutusohjelma, jolla varmistutaan kauko-ohjaajan riittävästä osaamisesta EU säädöksen 2019/947 mukaisesti. Näiden lisäksi tulee tehdä hätätilanteen toimintasuunnitelma (ERP), varmistaa toiminta-alueen turvavaatimukset, varautumis- ja hätätilannemenettelyiden riittävyys, sekä varmistua siitä, että laitevaatimukset täyttävät BVLOS -operoinnin vaatimukset eli laitteessa tulee olla FTS -järjestelmä (Flight Termination System). (Tietoa ennakkoriskiarviosta (PDRA) 2023.).

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena on Parrot Anafi Ai:lla suoritettun ilmakuvaus tuottavuuden selvittäminen, sekä ilmakuvaprosessin rakenteen esittäminen.

Tuottavuuden selvittämiseksi vertaillaan multikopterilla suoritettun ilmakuvaus tuotosta ja käytettyä aikaa. Tuottavuutta selvitetään tarkastelemalla lentotietoja ja muita tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten mittamalla ajettua, sekä käveltyä matkaa. Tuottavuutta tarkastellaan eri näkökulmista, mm. tuottavuutta tietynä aikana tai tietyllä alueella.

Toisena opinnäytetyön tavoitteena on ilmakuvauksen lentoprosessin selvittäminen ja sen esittäminen kaaviona. Lentoprosessia avataan yleisten käytäntöjen ja säädösten ohella myös dronepilottin henkilökohtaisten kokemusten kautta.

Opinnäytetyöstä saatavien tulosten perusteella on mahdollista vertailla erilaisia droonityyppejä, kuten VTOL -drooneja ja multikoptereita, sekä niiden tuottavuutta

Opinnäytetyössä aineistona on käytetty erilaisia kirjallisia lähteitä kaukokartoituksen ja ilmakuvauksen perusteista, joista on saatu kirjoitettua tutkimuksen pohjaksi kattava teoriaosuus. Kirjallisten lähteiden lisäksi on hyödynnetty lukuisia internet-lähteitä ja erinäisiä tutkimuksia droonien hyödyntämisestä metsätaloudessa. Lisäksi lennätukseen ja lentoprosessiin liittyvien asioiden analysoinnissa on hyödynnetty dronepilottina hankittua kokemusta ja omaa ammattitaitoa.

Tärkeimpänä aineistona voidaan kuitenkin pitää Stora Enson ylläpitämää lentopäiväkirjaa. Siihen on kerätty tietoa Parrot Anafi Ai:lla suoritetuista kartoituslennnoista drone-kehityshankkeen aikana.

Drone-kehityshanke suoritettiin Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueella, pääosin Pudasjärven ja Taivalkosken kunnissa. Hanke toteutettiin kesällä 2022, kun metsävaratiedot vaativat päivittämistä suurien myrskytuhojen takia alueella. Hankkeen aikana koostettuun lentopäiväkirjaan on kerätty yhden drone-harjoittelijan toteutuneita lentotietoja. Kartoituslennnot suoritettiin touko-, kesä- ja heinäkuun aikana.

Lentopäiväkirja koostuu kahdesta osasta, joista ensimmäinen selitetään yleis-
täten osittain salassa pidettävien tietojen vuoksi. Ensimmäiseen osaan on mer-
kitty mm. metsänomistajan henkilötiedot ja tilanumerot.

Lisäksi metsäasiantuntija merkitsee kuvattavat metsäpalstat ja priorisoi ne kiireel-
lisyyden mukaan ilmakehän kuvauksia varten. Metsäpalsta valikoituu kuvattavaksi koh-
teeksi, jos metsäasiantuntijan mielestä ilmakehän kuvauksista olisi apua jo vireillä olevassa
tai suunnitellussa puukaupassa. Lentosuunnitelmien tekemisen helpottamiseksi
on arvioitu myös lennettävät pinta-alat. Viimeisimpänä lentopäiväkirjasta näkee,
mitä tuotteita metsäasiantuntija tilalta tarvitsee. Ilmakehän kuvauksen lisäksi voidaan
tarvittaessa ottaa valokuvia, videoita ja panoraamakuvia.

Lentopäiväkirjan toiseen osaan (TAULUKKO 1.) on koostettu toteutuneiden len-
tojen tietoja. Sarakkeisiin on merkitty toteutuneet tuotteet, lennetyn alueen pinta-
ala, lennon kesto, akun kulutus, kuvien määrä, pituus- ja sivupeitto, säätieto, päi-
vämäärä, sekä tietoja valmiin aineiston käsittelystä ja hyödyistä metsäasiantunti-
jalle.

TAULUKKO 1. Toteutuneiden lentojen tietoja.

Toteutuneet tuotteet	Lennetty alue (ha)	Kesto (min)	Akun kulutus (%)	Kuvien määrä
Ilmakuva	13	10:30	33	93
Ilmakuva	13	8:20	29	55
Ilmakuva	130	114	339	1575
Ilmakuva, Kuva	78	69	203	1039
Ilmakuva, Kuva, Video	67	66	220	958
Ilmakuva	22	25	120	270

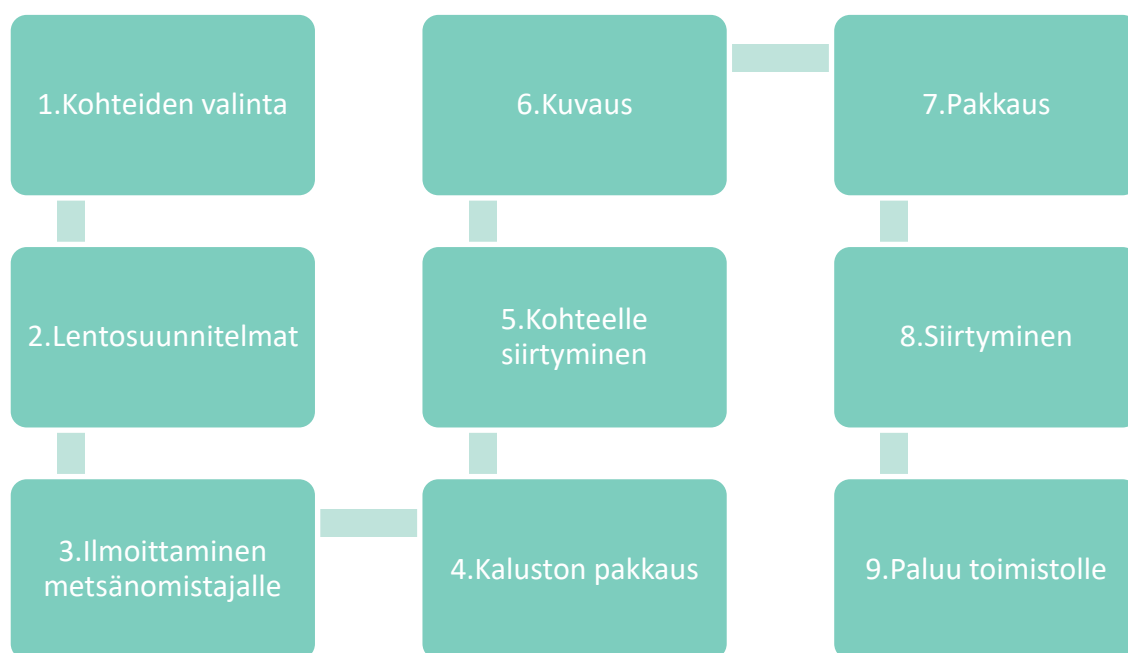
Lentoprosessiin kuuluu olennaisesti paljon muutakin, kuin itse lentämistä. Koko-
naisuuden mittaamiseksi on lentopäiväkirjan pohjalta koostettu Tulokset -koh-
dassa oleva taulukko (TAULUKKO 3), jossa esitetään tehokkuuteen liittyviä
avainlukuja. Tehokkuuteen vaikuttavia asioita on kartoitettu mahdollisimman laa-

jasti prosessia selvittäessä. Lentoprosessiin olennaisesti liittyy esimerkiksi kohteelle siirtyminen, sekä liikkuminen eri kohteiden välillä. Tämän vuoksi taulukkoon on lentopäiväkirjasta saadun datan lisäksi kirjattu mm. autolla ja jalan kuljettuja matkoja ja käytettyä aikaa.

4 TULOKSET

4.1 Ilmakuvausprosessi

Ilmakuvausprosessin kokonaisuus käy ilmi kaaviosta (KUVIO 1.), johon on merkitty prosessin osia ja muita huomioitavia asioita suunnittelun eri vaiheissa. Toiminnan kuvaus ja prosessin rakenne on kuvattu dronepilotin, eli tässä tapauksessa drone-harjoittelijan näkökulmasta.



KUVIO 1. Ilmakuvausprosessi.

Metsänkartoituksen ilmakuvausprosessi alkaa **kohteiden valinnasta**. Potentiaaliset kohteet tulevat metsäasiantuntijoilta heidän tarpeidensa mukaan. Eri kohteet priorisoidaan kiireellisyyden mukaan kolmeen eri luokkaan. Luokat voivat olla esimerkiksi ”tällä viikolla lennettävät”, ”muutaman viikon sisään” ja ”kuha kerkiät”. Kun kuvattavat alueet ovat tiedossa, valitaan kullekin päivälle sopivat kohteet. Kohteet suunnitellaan niin, että kuljettu matka on mahdollisimman tarkoituksen mukainen. Jos päivän suunnitelmassa on useita palstoja tai tiloja, pyritään siirtymisiin käytettävä aika minimoimaan.

Toimistolla varmistetaan kaluston kunto sekä **tehdään lentosuunnitelmat** kullekkin kohteelle. Kaluston tarkistukseen kuuluu niin akkujen määrän ja varaustason varmistaminen kuin ylipäättään dronin kunnan tarkistaminen. Lentosuunnitelmat tehdään Parrotin omalla Freeflight7 ohjelmalla suoraan ohjainlaitteessa käytettävällä iPad:llä. Suunnitelmaan rajataan karttapinnalle kuvattavan alueen rajat, asetetaan sivu- ja pituuspeitto, lentokorkeus ja tarkastetaan turva-asetukset. Lentosuunnitelmia tehdessä on myös hyvä varmistaa Aviamaps-palvelusta, ettei alueella ole lentorajoituksia, tai muuta toimintaa, mikä häiritä ilmakuvauksen suorittamista. Lentosuunnitelmien teon yhteydessä **ilmoitetaan metsänomistajalle** suoritettavasta kuvauksesta.

Kun lentosuunnitelmat on tehty ja kalusto pakattu autoon, **siirrytään päivän ensimmäiselle kohteelle**. Kohteelle saavuttaessa pyritään ajamaan sellaiseen kohtaan, mistä on nopeasti mahdollisuus siirtyä kuvattavalle palstalle ilmakuvauksen aloittamista varten. Ennen kuvauksen aloittamista pitää droni ja ohjainlaite synkronoida, suorittaa mahdollinen kalibrointi laitteisiin, jolloin varmistutaan siitä, että GPS toimii, eikä lennon aikana tule paikannuksen kanssa ongelmia. Tarkastetaan vielä varotoimenpiteet, kuten kotiinpaluutoiminto ja siihen tarvittavat tiedot, sekä katsotaan Aviamapsista onko alueelle tullut muusta ilmailutoiminnasta ilmoituksia.

Ilmakuvauksen aloitetaan kohteella käynnistämällä aiemmin tehty lentosuunnitelma FreeFlight 7 sovelluksessa. Lennon aikana tarkkaillaan ympäristöä ja muuta ilmatilaa, tähytetään dronia jatkuvasti, sekä tarvittaessa liikutaan maastossa dronin mukana, jotta näkö- ja ohjaimenyhteys droniin säilyy katkeamattomana. Ilmakuvauksen aikana vaihdetaan tarvittaessa uusi akku, jos yhden akun kapasiteetti ei riitä koko alueen kuvaamiseen. Ilmakuvauksen on hyvin automatisoitua ja droni suorittaa ilmakuvausta annettujen ehtojen ja suunnitelman mukaisesti. Jos ilmakuvauksen aikana ei näy mitään erikoista, eikä muita tuotteita kohteesta ole tilattu voidaan kuvaus lopettaa.

Ilmakuvauksen valmistuttua droni palaa automaattisesti pilotin asettamalle paikalle ja rupeaa laskeutumaan. Laskeutumisen jälkeen pakataan droni ja muut tarvikkeet salkkuun ja siirrytään seuraavalle kohteelle suunnitelman mukaisesti.

Päivän ilmakehän kuvauksen jälkeen **palataan toimistolle**, jossa huolehditaan laitteet lataukseen ja ladataan aineisto tietojärjestelmään. Aineiston lataaminen kestää kuvien määrästä ja laadusta riippuen noin 10-30 minuuttia. Latauksen valmistuttua alkaa aineiston automaattinen käsittely, jolloin järjestelmä muodostaa kuvista yhtenäisen tilakohtaisen ortoilmakuvan 1-2 vuorokaudessa. Mikäli metsäasiantuntija on ilmakehän kuvien lisäksi tilannut muita tuotteita, ne ladataan eMetsä -palveluun. Kun kaikki tilakohtaiset tuotteet ovat valmiita hyödynnettäväksi, ilmoitetaan metsäasiantuntijalle.

4.2 Tuottavuus

Ilmakehävauksen tuottavuutta on selvitetty lentopäiväkirjan sekä siitä koostetun taulukon (TAULUKKO 3.) avulla, koska pelkästään lentopäiväkirjasta saadun datan pohjalta prosessin tuottavuutta ei voi puhtaasti selvittää. Kuten prosessikaaviosta (KUVIO 1.) käy ilmi, lentoprosessiin kuuluu itse lentämisen lisäksi paljon muutakin.

Lentopäiväkirjaan kerättyjen tietojen pohjalta on laskettu yhteenveto (TAULUKKO 2.) kuinka paljon hehtaareja on kokonaisuudessa kuvattu, paljonko on kuvatun alueen keskimääräinen pinta-ala, kuinka suuri alue on lennetty keskimäärin yhdellä akulla, sekä kuinka suuri alue on lennetty keskimäärin yhdessä päivässä. Pinta-alan lisäksi on laskettu myös lentoaikaa, akunkulutusta sekä kuvien määrää.

TAULUKKO 2. Toteutuneiden lentojen yhteenveto.

	Lennetty alue (ha)	Kesto (min)	Akun kulutus (%)	Kuvien määrä
Yhteensä	2037	1992	6475	29207
Keskiarvo	49	47	154	712
Per akku (90%)	28	28	90	406
Keskimäärin päivässä	70	69	223	1007

Tämän lisäksi lentopäiväkirjasta koostetussa taulukossa (TAULUKKO 3.) on perustietojen lisäksi mitattu mm. keskimääräisiä arvoja yksittäisen tilan pinta-alasta, ajetusta ja kävellystä matkasta, yhden hehtaarin kuvaamiseen kuluneesta ajasta sekä kuvatun alueen suhdetta ajettuun matkaan eri alueilla.

Jotta voidaan tarkastella kuljetun matkan ja kuvatun alueen suhdetta tulee palstan etäisyys, pinta-ala ja ajettu reitti kohteelle määrittää. Kohteiden sijainnit on määritetty kiinteistötunnuksen mukaan ja taulukkoon on mitattu Googlen kartta-palvelua hyödyntäen matka toimistolta kuvauskohteelle. Laskelmissa ei ole huomioitu paluuta toimistolle.

Tämän lisäksi myös siirtymät erillisten palstojen välillä saman kuvauspäivän aikana on huomioitu kuljetun matkan mittausvaiheessa. Autolla kuljettu matka ja autolta kohteelle siirtyminen jalan on merkitty erikseen. Tarkastelussa ei ole huomioitu kuvauksen aikana mahdollisesti tarvittavaa kävelyä kohteella lain vaatiman näköyhteyden säilyttämiseksi drooniin.

Kuvausmääriä tarkasteltaessa tulee huomioida, että laskelmissa on otettu huomioon ainoastaan ilmakuvat, eikä muita mahdollisesti tilattuja tuotteita. Jokaisella tilalla suoritettiin ilmakuvaukset ja joillakin kohteilla tarpeen vaatiessa otettiin lisäksi valokuvia, videoita ja panoraamakuvia. Ilmakuvaukset suoritettiin 120m korkeudesta, sivu- ja pituuspeiton ollessa 80.

Tarkastelujakson aikana saatiin kuvattua yhteensä 42 kohdetta, joiden pinta-ala on yhteensä 2037 hehtaaria. Näin ollen yhden tilan koko on keskimäärin 48,5 hehtaaria. Yhden työpäivän aikana saatiin kuvattua keskimäärin 70 hehtaaria ja lentopäiviä kertyi 29 kappaletta.

Tarkastelujakson kokonaistuotos on 2037 hehtaaria, minkä kuvaamiseen on kulunut yhteensä 1992 minuuttia eli yli 33 tuntia puhdasta kuvausaikaa. Tämä tekee 58 sekuntia jokaista kuvattua hehtaaria kohden.

Ilmakuvausta suoritettaessa Parrotilla saadaan tuotettua ilmakuvaa minuutissa siis noin yhden hehtaarin alueelta. Näin ollen yhdellä akulla lennettäessä, huomi-

oiden kuvauskorkeuteen nouseminen, aloituspisteeseen liikkuminen, akun loppuessa pilotin luokse palaaminen, saadaan yhdellä lennolla kuvattua 28 minuutissa noin 28 hehtaaria. Parrotin teknisissä ominaisuuksissa lentoajaksi yhdellä akulla kerrotaan noin 32 minuuttia (Parrot 2023). Eli ilmakuvausta suoritettaessa ylimääräiseen liikkumiseen kuluu akkua jo 4 minuutin edestä.

Lentoajan ollessa 4-5 tuntia päivässä voidaan todeta, että yhdessä päivässä voi kuvata noin 70 hehtaaria, eli noin 15,5 hehtaaria tunnissa. Lentodataa tarkasteltaessa huomaa, että yhden hehtaarin kuvaamiseen menee hiukan alle minuutti, kun käytännössä ajanmenekki on noin 4 minuuttia per lennetty hehtaari.

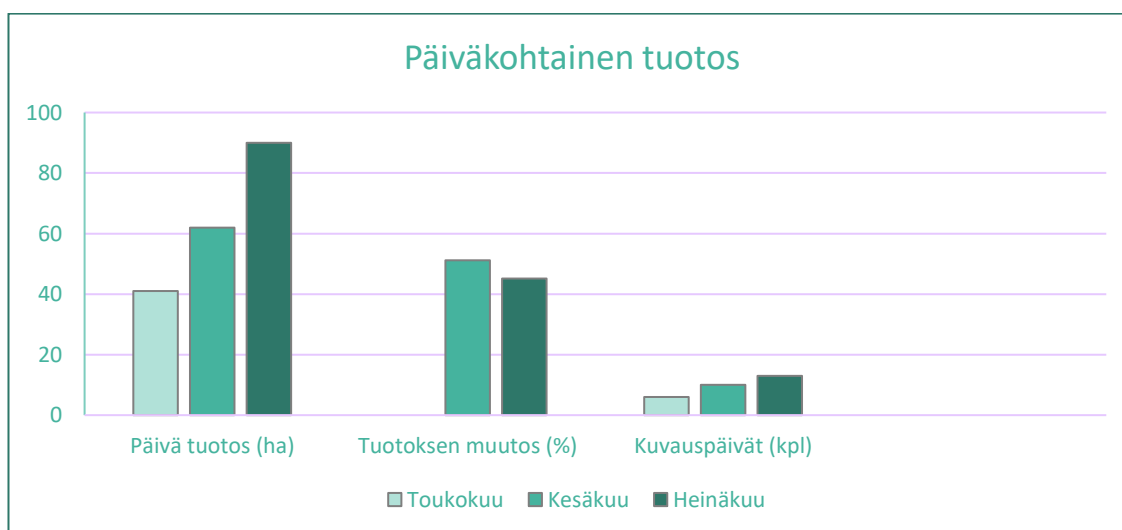
Lennätyksen lisäksi merkittävä osa työpäivästä kuluu kohteelle siirtymiseen. Kilometrejä kertyi yhteensä 2025, jolloin keskimääräinen matka kohteelle oli noin 70 kilometriä. Yhtä lennettyä hehtaaria kohti autolla ajomatka on 0,99 kilometriä.

Koska etäisyydet kohteisiin vaihtelevat 5,5 kilometristä 173 kilometriin, on ajetun matkan ja kuvatun alueen suhdetta tarkasteltu myös kuntakohtaisesti. Yhteenlasketussa summassa on mukana Kuusamossa olleet kohteet, missä kilometrien ja hehtaarien suhde on 2,52, kun taas vastaava lukema on Pudasjärvellä 0,71 ja Taivalkoskella 1,01. Valtaosa kohteista sijaitsee autoteiden ulottumattomissa, joten autolla ajamisen lisäksi on mitattu jalan kuljettua matkaa. Keskimäärin kuvauskohteelle siirtyminen kävellen on noin 550m.

TAULUKKO 3. Operatiivisia tuloslukuja.

Kuvauspäiviä	29
Kohteita	42
Yhteenlaskettu pinta-ala (ha)	2037
Yhteenlaskettu ajettu matka (km)	2025
Ka. Pinta-ala (ha)	48,5
Ka. Siirtymä autolla (km)	69,8
Ka. Siirtymä jalan (m)	546
Lentoaika päivässä (h)	4,5
Ka. Pinta-ala päivässä (ha)	70
Ka. Pinta-ala tunnissa (ha)	15,6
Ka. Pinta-ala minuutissa (ha)	0,3
Siirtymä hehtaaria kohden (km/ha)	0,99
Siirtymä Pudasjärvi (km/ha)	0,71
Siirtymä Taivalkoski (km/ha)	1,01
Siirtymä Kuusamo (km/ha)	2,52

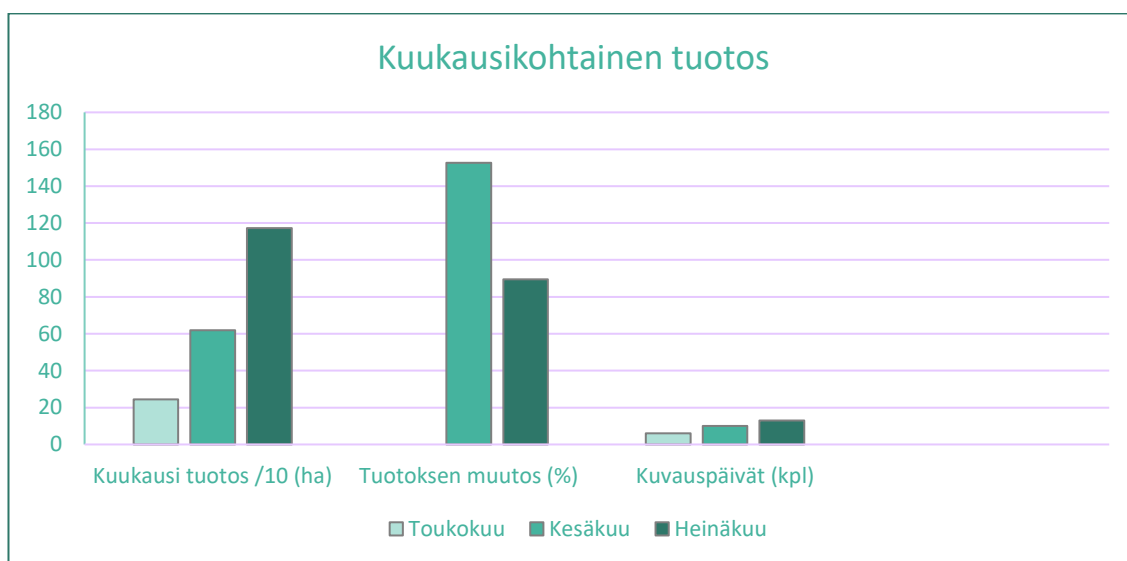
Opinnäytetyön tuloksia tarkastellessa on muistettava, että tutkimusta varten saatu aineisto on pilotti-vaiheesta, jolloin toimintatavat ja käytänteet olivat vasta muovautumassa ja koko prosessin aikana kehitettiin oikeaa toimintatapaa. Tämän takia kuvausmäärien vaihtelu niin päivä, kuin kuukausitasollakin on huomattavaa.



KAAVIO 1. Päiväkohtainen tuotos

Edellä esitetyn kuvaajan (KAAVIO 1.) mukaan päiväkohtainen tuotos oli toukokuussa 41, kesäkuussa 62 ja heinäkuussa 90 hehtaaria. Tuotos kasvoi edelliseen kuukauteen verrattuna selvästi joka kuukausi. Kesäkuuta verratessa toukokuuhun muutos on 51% ja heinäkuussa tuotos on kasvanut 45% kesäkuuhun verrattuna. Toukokuussa kuvauspäiviä kertyi 6, kesäkuussa 10 ja heinäkuussa 13 päivää.

Kuukausitasolla tarkasteltuna muutokset ovat vielä suurempia, kuin päiväkohtaisia lukuja tarkastellessa.



KAAVIO 2. Kuukausikohtainen tuotos

Yllä olevassa kuvaajassa (KAAVIO 2.) näkyy kuukausikohtainen tuotos, mutta tuloksen havainnollistamiseksi tuotoksen kohdalla luvut ollaan jaettu 10:llä, muuten mittakaava vääristyisi muita lukuja tarkastellessa. Toukokuussa on kuvattu 245, kesäkuussa 619 ja heinäkuussa 1173 hehtaaria. Touko- ja kesäkuuta verratessa tuotos kasvoi 152%. Kesäkuun ja heinäkuun välillä tuotos kasvoi edelleen, mutta hieman maltillisemmin 89%.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selvitettyä dronilla suoritettavan kaukokartoituksen ilmakuvauksen prosessi. Prosessikaaviosta huomataan, että ilmakuvauksessa sisältää monia eri vaiheita, jolloin toimivan kokonaisuuden kehittämiseksi tulee huomioida useita eri seikkoja.

Ilmakuvauksesta saatiin käytössä olevan aineiston pohjalta laskettua kokonaistuotos ja näin ollen määritettyä toiminnan tehokkuus.

Tutkimusaineisto perustui drone-kehityshankkeen alussa suoritetuista kartoituslentoista. Tutkimuksessa käytettävää aineistoa oli suhteellisen vähän, vain 42 kohdetta, sekä aineiston vaihtelevuus oli suurta kuvattavien pinta-alojen, sekä kohteiden etäisyyksien osalta. Lentopäiväkirjaa ylläpiti kehityshankkeen aikana drone-harjoittelija, jolloin lukujen pyöristämisestä tai kirjaamisesta on saattanut syntyä virhettä, joka sittemmin vaikuttaa tutkimustuloksiin.

On mahdollista, että suuremman aineiston avulla, jota on kerätty pidemmällä aikavälillä olisi tuloksista saatu entistäkin tarkempia. Saadut tulokset ovat kuitenkin nykyiselläänkin hyvin suuntaa antavia.

Tutkimuksessa hyödynnettävän aineiston perusteella toimintaa voidaan edelleen kehittää. Tarkastelujaksolla tuotoksen kasvuun vaikuttaneet suurimmat tekijät lienevät akkukapasiteetin kasvaminen kuvausprosessin edetessä sekä kuvauspäivien määrän kasvu. Tutkimuksen perusteella tehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi kuvauspäivien suunnittelu ja kohteiden valinta. Hyvällä suunnittelulla saadaan vähennettyä etenkin autolla ajamista, mihin kuluu merkittävä osa ajasta koko kuvausprosessia mitatessa.

Ilmakuvauksen tehostamiseksi voitaisiin toimintaa suorittaa eri laitteistolla. Suuremman kantaman omaava droni tai blos-operaationa suoritettuna ilmakuvauksesta saataisiin mahdollisesti vieläkin tehokkaampaa. Tämän takia opinnäytetyön tuloksia voidaan jatkossa hyödyntää eri kaukokartoitusmenetelmiä valittaessa. Tuloksia voidaan soveltaa niin multikoptereille, kuin kiinteäsiipisiin ilman näköyhteyttä operoiviin dronimalleihin.

LÄHTEET

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

Copernicus. n.d. Land. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2024
<https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/land>

Droneinfo. 2023. Drone ja sen toiminnot – miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien yleistuntemus. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2024
<https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus>

Droneinfo. 2024. Lennättäminen avoimessa kategoriassa. Verkkosivu. Viitattu 13.3.2024. <https://www.droneinfo.fi/fi/lennattaminen-avoimessa-kategoriassa>

Droneinfo n.d. Ajankohtaista. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2024.
<https://www.droneinfo.fi/fi>

Euroopan komission asetus 2019/945. Viitattu 5.5.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:32019R0945>

Euroopan komission asetus 2019/947. Viitattu 5.5.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R0947-20200606&from=EN#toclid6>

European image mosaic. n.d. Copernicus. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2024
<https://land.copernicus.eu/en/products/european-image-mosaic>

Geotrim n.d. Geotrimin 3D-valikoimiin uusi mobiilikartoitusjärjestelmä ja VTOL-tekniikan kiinteäsiipinen drone. Verkkosivu. Viitattu 3.6.2024 https://geotrim.fi/yritys/uutisia/realitycapture_uutisia/geotrimin-3d-valikoimiin-uusi-mobiilikartoitusjarjestelma-ja-vtol-tekniikan-kiinteasiipinen-drone/

GIS Geography. 2024. Multispectral vs Hyperspectral Imagery Explained. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2024. [Multispectral vs Hyperspectral Imagery Explained - GIS Geography](https://www.gisgeography.com/multispectral-vs-hyperspectral-imagery-explained/)

Huitu, Lopatin & Ylioja. 2021. Dronet avuksi metsätuhojen kartoitukseen. Verkkosivu. Viitattu 20.3.2024 (<https://www.luke.fi/fi/blogit/dronet-avuksi-metsatuhojen-kartoitukseen>)

Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja , Nro 5 , Helsinki.

Ilmailulaki 7.11.2014/864. Viitattu 5.5.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>

Infiniti electro-optics, n.d. What is a Visible Imaging Sensor (RGB Color Camera)?. Verkkosivu. Viitattu 15.3.2024 <https://www.infinitioptics.com/glossary/visible-imaging-sensor-400700nm-colour-cameras>)

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M., Maltamo, M. 2011. Metsän mittaus ja kartoitus. 3. uud. Painos. Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto

Laki Suomen metsäkeskuksen metsätietojärjestelmästä 6.5.2011/419. Viitattu 22.5.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110419>

Luvanvarainen toiminta Erityinen-kategoriassa. 2024. Droneinfo. Verkkosivu. Viitattu 22.5.2024 <https://www.droneinfo.fi/fi/luvanvarainen-toiminta-erityinen-kategoriassa>

Maanmittauslaitos. 2023. Kymmenien miljoonien säästöt uusien metsätiedon keruumenetelmien avulla. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2024. <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/kymmenien-miljoonien-saastot-uusien-metsatiedon-keruumenetelmien-avulla>

Maanmittauslaitoksen ilmakekuva. n.d. Maanmittauslaitos. Verkkosivu. Viitattu 12.3.2024. [Maanmittauslaitoksen ilmakekuva | Maanmittauslaitos](#)

Metsäkeskus. 2024. Kaukokartoituksella voidaan todentaa tehtyjä metsänhoitoja ja niiden laatua. Verkkosivu. Viitattu 8.4.2024

Metsäkeskus. n.d. Metsävaratiedot. Verkkosivu. Viitattu 22.5.2024. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/metsatietoaineistot/metsavaratiedot>

Muutoksia dronen lennättämiseen 1.1.2024 alkaen. 2023. Droneinfo. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2024 <https://www.droneinfo.fi/fi/ajankohtaista/muutoksia-dronen-lennattamiseen-112024-alkaen>

Mäyrä ym. 2021. Tree species classification from airborne hyperspectral and LiDAR data using 3D convolutional neural networks. Elsevier. Viitattu 19.3.24 [Tree species classification from airborne hyperspectral and LiDAR data using 3D convolutional neural networks \(sciencedirectassets.com\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/S0101074121000000)

Parrot. 2023. ANAFI Ai The 4G robotic UAV. Verkkosivu. Viitattu 10.4.2024 <https://www.parrot.com/en/drones/anafi-ai>

PIX4D n.d. Tools – GSD calculator. Verkkosivu. Viitattu 22.3.2024 <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249>

Pukkala, T. 1988. Metsän kaukokartoituksen perusteet. Joensuun yliopisto

Satelliittikaukokartoitus. N.d. Maanmittauslaitos. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2024 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietao/satelliittikaukokartoitus>

Tiedon laatu. n.d. Metsäkeskus. Verkkosivu. Viitattu 15.5.2024. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yllapito/tiedon-laatu>

Tiedon ajantasaisuus n.d. Metsäkeskus. Verkkosivu. Viitattu 3.6.2024
<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yllapito/tiedon-ajantasaistus>

Tietoa ennakkoriskiarviosta (PDRA) 2023. Droneinfo. Verkkosivu. Viitattu 25.5.2024 (<https://www.droneinfo.fi/fi/luvanvarainen-toiminta-erityinen-kategoriassa?toggle=Ennakkoriskiarvioon%20%28PDRA%29%20perustuva%20toimintalupa>)

Viranomaisen n.d. VESITIIVIYDEN LUOKITUSJÄRJESTELMÄ - IP-LUOKITUS. Verkkosivu. Viitattu 10.4.2024 <https://viranomaisen.fi/ip-luokitus>)

YellowScan n.d. Complete LiDAR Solutions. Verkkosivu. Viitattu 3.6.2024
<https://www.yellowscan.com/>