



Karelia-ammattikorkeakoulu
Metsätalousinsinööri (AMK)

Droonikuvauksen hyödyntäminen metsänhoitotöiden työnjäljen tar- kastamisessa


Ville Hiekka-aho


Opinnäytetyö, Marraskuu 2022

www.karelia.fi

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Metsänhoitoon liittyvä laadunvalvonta	6
3	Droonit ja lennättäminen	8
3.1	Drooneja koskeva lainsäädäntö	9
3.2	Droonien tekniikka	9
3.3	Droonien käytön sovelluksia	10
4	Tutkimuksen tavoite	12
5	Aineistot ja menetelmät	12
5.1	Kalusto	13
5.2	Kuvattavien kohteiden valinta	13
5.3	Kenttäkokeet	14
5.4	Kerätyn tiedon analysointi	15
6	Tulokset	18
6.1	Kenttäkoe 1: raivattu nuori taimikko	18
6.2	Kenttäkoe 2: raivattu varttunut taimikko	20
6.3	Kenttäkoe 3: raivaamaton nuori taimikko	21
6.4	Tulosten taulukointi ja analysointi	22
7	Pohdinta	26
7.1	Tulosten tarkastelu	26
7.2	Luotettavuus	27
7.3	Jatkokehitysmahdollisuudet	28
7.4	Johtopäätökset	29
8	Lähteet	31

	<p>OPINNÄYTETYÖ Marraskuu 2022 Metsätalouden koulutus</p> <p>Karjalankatu 3 80200 JOENSUU +358 13 260 600</p>
<p>Tekijä(t)</p> <p>Ville Hiekka-aho</p>	
<p>Nimeke</p> <p>Droonikuvauksen hyödyntäminen metsänhoitotöiden työnjäljen tarkastamisessa.</p>	
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin drooni-ilmakuvauksen mahdollisuuksia metsänhoitotöiden tarkastamisessa ja hinnoittelussa. Erityisesti huomiota kiinnitettiin ilmakuvauksen luotettavuuteen verrattuna tavanomaiseen ympyräkoealamittamiseen. Tutkimuksessa myös selvitettiin kuvauskorkeuden vaikutusta tulosten luotettavuuteen.</p> <p>Tutkimuksessa suoritettiin kolme erillistä kenttäkoetta, joissa ilmakuvattiin ominaisuuksiltaan kolmea erilaista kuusitaimikkoa. Kuvauskalustona käytettiin DJI Phantom 4 Pro + kopteria, joka saatiin käyttöön Karelia Ammattikorkeakoululta.</p> <p>Otetut ilmakuvat leikattiin mitattaviksi GIMP-kuvanmuokkausohjelmalla. Kuvista lasketut tiedot kasvatettavasta sekä poistettavasta tai poistetusta puustosta syötettiin laskutaulukkoon. Taulukossa vertailtiin ympyräkoealoista saatuja puuston määriä ilmakuvista laskettuihin puuston määriin.</p> <p>Tutkimuksessa tultiin siihen tulokseen, että ilmakuvaus ei ole tutkimuksessa käytetyillä metodeilla riittävän luotettavaa. Verrattaessa yksittäisiä ilmakuvia samasta kohdasta tehtiin ympyräkoealoihin, vaihtelut tulosten täsmävyydessä olivat merkittäviä, eikä tarkkaa virhemarginaalia pystytty muodostamaan. Tulokset eivät olleet riittäviä myöskään kuviokohtaisesti. Tutkimuksen tuloksista huolimatta ilmakuvauksella nähtiin paljon mahdollisuuksia metsänhoidon alalla. Drooneilla voidaan havainnoida taimikoiden kuntoa ja yleisilmettä sekä seurata töiden etenemistä.</p>	
<p>Kieli suomi</p>	<p>Sivuja 32</p>
<p>Asiasanat</p> <p>metsänhoito, droonit, työnjälki</p>	

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS December 2021 Degree Programme in Forestry Karjalankatu 3 FI 80200 JOENSUU FINLAND Tel. +358 13 260 600
Author(s) Ville Hiekka-aho	
Title Inspecting quality of silvicultural work using low-altitude drone orthophotos	
<p>The objective of this thesis was to investigate the possibilities of drone based aerial photography in the pricing and controlling forest work. High priority in research was the reliability of aerial measuring compared to traditional circular plot measuring. The study also investigated the impact of the imaging height on the reliability of the results.</p> <p>The research included three field experiments which took place in three different recently planted forests. In all experiments the main species to be grown was spruce. The DJI Phantom 4 Pro + was used as the imaging equipment, provided by Karelia University of Applied Sciences.</p> <p>Aerial images were cropped with GIMP photo editing software. The data calculated from the images for the trees to be grown and the trees to be removed or removed were entered into a spreadsheet. Purpose of the spreadsheet was to compare the results between aerial measuring and circular plot measuring.</p> <p>According to this research and the used methods, aerial measuring of recently planted forest is not sufficiently reliable. When comparing measurements from aerial photos and circular plot measurements on the same location, variations in the accuracy of the results were significant and no precise margin error could be established. The results lacked accuracy also when inspecting larger areas. Despite the results of the research, drones can be used for general inspecting of recently planted forests and to follow how cutting proceeds.</p>	
Language Finnish	Pages 32
Keywords¹ Forest management, drones, work quality	

1 Johdanto

Droonit avasivat 2010-luvulla silmän taivaalle myös metsäalalla. Keskustelu aiheen ympärillä on ollut polveilevaa. Parhaillaan monet metsäalan toimijat selvittävät ja tutkivat droonien mahdollisuuksia. Markkinoille on tullut myös yksinomaan drooni-kuvaukseen ja kuvatun datan analysointiin keskittyneitä yrityksiä.

Suuremmilla ilma-aluksilla, kuten lentokoneilla ja helikoptereilla tehtävä metsien kuvaaminen ja metsävaratiedon kerääminen on saanut viime vuosina rinnalleen sekä ammattilaistasoiset että kuluttajahintaiset pienoiskopterit. Drooneilla pystytään tarkkailemaan metsiä yläilmoista käsin ja huomattavasti matalammalla kynnyksellä. Kopterikameroilla saadaan ajankohtaista, tarkkaa tietoa, ja kopterin lentoonlähtövalmistelut vievät vain muutamia minuutteja verrattuna perinteisen ilmakuvauksikaluston aikaa vieviin valmisteluihin.

Kuvauskoptereiden ketteryys on omaa luokkaansa verrattuna perinteiseen ilmakuvaukseen.

Suuremmilla ilma-aluksilla suoritettua maaston kuvantamista on tutkittu jo usean vuosikymmenen ajan. Kopterikameroiden tultua laajemmin kuluttajamarkkinoille viimevuosien aikana laajentuvat ilmakuvauksen mahdolliset entisestään. Kynnys ilmakuvaukseen on nykyään huomattavasti aiempaa matalampi, mikä mahdollistaa tutkimuksen myös pienemmillä resursseilla.

Metsänhoitotöiden työnjäljen maastossa mittaaminen suoritetaan edelleen ympyräkoealoja mittaamalla, joka on luotettava ja varma mittaustapa. Sankan kasvuston, vaikean ja kivikkoisen maapohjan tai runsaan kaadetun puuston takia mittaaminen on kuitenkin usein työlästä ja hidasta. Droonien monipuolisuutta tulisi hyödyntää metsänhoidon alalla.

Droonit ovat kehittyneet kiihtyvässä tahdissa viime vuosina. Niitä on käytetty jo esimerkiksi myrskytuhojen kartoituksessa (Ulvinen 2022, 38.). Käytännön metsätoissa droonien hyödyntämisen parissa työskentelee ruotsalainen Airforestry-yritys, joka on kehittämässä drooni-harvesteria. Mukana kehitysyhteistyössä on merkittäviä ruotsalaisia metsätalousvaikuttajia ja -yrityksiä kuten Sveaskog, Skogforsk ja Vinnova. (Airforestry AB 2022)

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia mahdollisuuksia kopterikameran hyödyntämisestä metsänhoidon eri työlajien työnjäljen arvioinnissa. Tarkoituksena on tutkia, kuinka luotettavaa tietoa pystytään laskemaan kopterikameralla kuvatusta materiaalista. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka luotettavasti kopterikameralla suoraan ylhäältä päin otetuista kuvista voidaan havaita taimikoiden kasvatettavan ja poistettavan puuston lukumäärää. Tämän lisäksi tutkitaan, kuinka kuvauskorkeus vaikuttaa mittausten luotettavuuteen.

2 Metsänhoitoon liittyvä laadunvalvonta

Taimikonhoito itsessään kattaa useita eri työlajeja, riippuen kasvatettavan puuston iästä, sekä kasvupaikan rehevyydestä. Taimikonhoidon tarkoituksena on antaa lisää kasvutilaa kasvatettavalle puustolle katkomalla kasvua haittaava puusto.

Tehdyt metsänhoitotyöt olisi hyvä tarkastaa. Tarkastuksen yhteydessä todetaan hoitotöiden onnistuminen, työnjälki sekä varmistetaan puustotunnuksia ja poistumia mittaamalla oikea hinta tehdyille työlle.

Mittaaminen suoritetaan yleisesti ympyräkoealamenetelmällä. Koealan keskipisteessä pyörähdetään 3,99 metrin mittakepillä täysi ympyrä ja lasketaan mittakepin rajaamalta aluelta kasvamaan jätetyn puuston määrää puulajeittain. Käytettäessä 3,99 metrin pituista mittakeppiä vastaa jokainen yksittäinen laskettu puu koealalla 200 puuta hehtaarilla. Saman puulajin samanpituiset puut lasketaan

yhteen ja puun pituuden tulee olla vähintään puolet valtapituudesta. Varhaisperkauksessa mukaan lasketaan kaikki samaa puulajia olevat puut. Jokaiselta koealalta valitaan silmämääräisesti keskivertopuu, jonka pituus mitataan puolen metrin tarkkuudella ja rinnankorkeuslöpimitan tarkkuus on 0,5 cm. (Haataja, Pölonen, Saksa, Sipilä 2014, 36)

Metsänhoitotöiden työjäljen laadunvalvonta on aikaa vievää työtä. Mittaajan täytyy kulkea työstetyn kuvion läpi ja mitata monia ympyräkoealoja. Kulkeminen on usein hidasta kaadetun vesakon takia.

Metsänhoidossa mitataan yleisesti kasvatettavaa ja poistettavaa puustoa erikseen. Kasvatettavasta puustosta muodostuu tulevaisuudessa kasvava metsä, kun taas poistettava puusto sahataan pois kasvavan puuston tieltä. Metsänhoitoa tehdään, jotta kasvatettavalla puustolla on riittävästi tilaa kasvaa ja järeytyä. Mitä enemmän puustoa joudutaan poistamaan, sitä vaikeampaa ja hitaampaa hoitotyö on.

Oli metsän hoitotöiden tekijä sitten metsänomistaja tai palkattu metsuri, kustannukset nousevat, mitä runsaampaa hoidettavan taimikon poistettava puusto on. Tiheämmässä taimikossa sahanterä kuluu enemmän ja polttoaineen kulutus on korkeampi. Tällöin hoitotyö kestää pitempään ja työmatkan kustannukset hehtaaria kohden nousevat.

Metsänhoitotyöt hinnoitellaan yleisesti niiden vaativuuden mukaan. Hoidettavilla metsikkökuviolla voi olla kymmenien tuhansien poistettavien puiden ero hehtaaria kohden, joten on erityisen tärkeää niin työn ostajan kuin tarjoajankin puolesta hinnoitella työ tarkasti. Merkittävin tekijä metsänhoitotöiden hinnan muodostuksessa on poistettavan puuston määrä ja sen järeys (Saksa, Miina, Uotila 2016, 94). Hinnoittelussa voidaan käyttää apuna erilaisia laskureita tai hintamatriisitaulukkoa, jossa poistettavan puuston lisääntyessä ja järeytyessä työn hinta nousee samassa suhteessa. Onnistunut hinnoittelu vaatii aktiivista työajanseurantaa ja laskelmia, joissa tulee ottaa huomioon eri kustannustekijät sekä poistettavan puuston piirteitä. Muita hinnoitteluun vaikuttavia tekijöitä voi olla myös esimerkiksi maaston kivikkoisuus. (Ruotsalainen 2017, 20.)

Nuorten metsien ja taimikoiden hoitaminen on koettu Suomessa valtakunnallisesti tärkeäksi toimenpiteeksi. Hoitotoita rahoitetaan metsäkeskuksen myöntämällä kestävän metsätalouden määräaikaisella rahoituslailla. Lain on tarkoitus edistää taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää metsänhoitoa ja käyttöä. (Kestävän metsätalouden määräaikainen rahoituslaki 34/2015 1 §)

3 Dronit ja lennättäminen

Nimityksellä dronit tai dronet, tarkoitetaan miehittämätöntä, usealla roottorilla toimivaa maasta ohjattavaa tai itsenäisesti lentävää lennokkia. (Euroopan komissio 2019) Kuvauskoopterista tai robottilennokista voidaan käyttää nimitystä drooni, drone. (Kotimaisten kielten keskus ja Kielikone Oy 2022) Tästä eteenpäin käytän tässä opinnäytetyössäni nimitystä drooni.

Dronit ovat yleistyneet viime vuosina tasaista tahtia niin tutkimus- kuin harrastustoiminnassakin. (Panttila ja Valta 2022) Tarkempaa lainsäädäntöä lennättämisestä koskien on tullut voimaan vasta 2020-luvulla. Merkittävimpänä yksityishenkilöiden droonien lennättämistä koskevana lainsäädäntönä voidaan pitää Euroopan Unionin asetusta 945/2019. 31.12.2020 voimaan astuneessa asetuksessa poistettiin rajanvetoja miehittämättömien ilma-alusten ja lennokkien välillä, rajoitettiin lentokorkeutta 120 metriin sekä määrättiin kaikkien lennättäjien rekisteröidyttäväksi. (Euroopan komissio 2019.)

Droonien markkinat kasvavat jatkuvasti ja niiden käytön lisääntymiseen maa- ja metsätaloudessa voidaan nähdä kolme avainasiaa, jotka ovat teknologian kehittyminen, lainsäädännön muutokset ja ympäristötietoisuuden kasvaminen. (Ristola 2021, 34.)

3.1 Drooneja koskeva lainsäädäntö

Lainsäädäntö droonien lennättämisestä tuli voimaan koko EU-alueella vuonna 2019. Asetuksessa 945/2019 kaikkien yli 250 g painavia- ja kamerallisia drooneja käyttävien, niin harrastus- kuin yritystoiminnassa pitää rekisteröityä, perehtyä droonien lennättämiseen ja pääsääntöisesti suorittaa koe.

Matalan kynnyksen lennättämiselle lainsäädännössä on otettu käyttöön avoin-kategoria. Tässä kategoriassa toimiminen ei vaadi erillistä toimilupaa, mutta lennättäjien on rekisteröidyttävä ja suoritettava koe. Suurin sallittu lennätyskorkeus on 120 m ja lentoonlähtöpaino on rajoitettu maksimissaan 25 kg. Toiminnan on perustuttava suoraan näköyhteyteen, vaarallisten aineiden kuljettaminen ja esineiden pudottaminen on kielletty. Ihmisjoukkojen yläpuolella ei saa lennättää. (Droneinfo, 2022)

Suomessa Traficom voi perustaa rajoittavia tai kieltäviä UAS-ilmatilavyöhykkeitä. Dronelennättäjän on aina ennen toiminnan aloittamista varmistettava aktiiviset kielto- ja rajoitusalueet. Tieto perustetuista kieltovyöhykkeistä julkaistaan droneinfo.fi -sivustolla. (Droneinfo, 2022) Pysyvistä ilmailun kielto- ja rajoitusalueista on säädetty valtioneuvoston asetuksessa 314/2021 1§.

3.2 Droonien tekniikkaa

Drooneja käytetään laajasti eri aloilla. Käyttökohteen mukaan ne voidaan varustaa erilaisilla lisävarusteilla tai laitteilla. Droonien perusrakenne kuitenkin sisältää tietyt välttämättömät komponentit. Rakenne voidaan jakaa viiteen eri osaluueeseen.

1. **Teholähde**, joka on yleensä akku, mutta voi kehittyneissä droonimalleissa olla myös aurinkopaneeli.

2. **Sulautetut järjestelmät**, jotka käsittelevät antureiden keräämää tietoa, sekä ohjaavat droonia.
3. **Anturit**, jotka keräävät haluttua dataa. Esimerkiksi kamera tai korkeusanturi.
4. **Aktuaattorit**, joilla säädellään moottoreiden nopeutta.
5. **Kommunikaatiojärjestelmät**, joiden tarkoituksena on välittää tietoa, esimerkiksi ohjauskomentoja tai kuvamateriaalia. (Jonas Nikula 2017, 2)

Suomessa toimii jo muutamia yrityksiä, joiden ydinliiketoimintaa ovat joko droonien lennätyspalvelut tai koptereilla kerätyn datan prosessointi. Esimerkkinä voidaan mainita joensuulainen yritys Silvadrones, joka tarjoaa metsien boorilannoituksia alun perin maatalouskäyttöön suunnitellulla raskaalla ruiskudroonikalustolla (Silvadrones 2022). Metsän mittauksen ja metsävaratiedon prosessoinnin parissa toimii Porilainen Metsälinkki OY (Metsälinkki Oy 2022). Siilinjärveläinen Innocad Oy (Inno-CAD Oy 2022) operoi Geodrone-kalustolla painottaen toimintansa pääosin talon- ja maanrakennuksen aloille. Geodrone-kopterit voidaan varustaa laserkeilaimella (Geotrim Oy 2022), jota voidaan käyttää myös metsätaloudessa. Drooneja voidaan siis varustaa lisälaitteilla hyvin laajalla skaalalla toimialasta ja tehtävästä riippuen.

3.3 Droonien käytön sovelluksia

Droonien hyödyntämistä metsätaloudessa on tutkittu eri yrityksissä kuin suomalaisissa korkeakouluissakin. Monet yritykset käyttävät drooneja pienessä mittakaavassa, mutta ovat pääosin ulkoistaneet mittavat drooni-palvelut niitä tarjoaville yrityksille. Poikkeuksena voidaan mainita Suomen metsäkeskus, joka käyttää drooneja merkittävässä määrin tarkastustoiminnassaan. (Karte 2020, 21, 24.)

Stora Enso on ilmoittanut käyttävänsä drooneja hyönteistuhojen kartoittamisessa (STT INFO 2020). Suuryritysten keskinäisen kilpailun takia julkista tietoa laajemmista yritysten teettämistä tutkimuksista ilmakuvaukseen on niukasti tarjolla.

Vuonna 2019 tehtiin Metsä Groupin toimeksiannosta tutkimus, jossa selvitettiin mahdollisuuksia tehdä metsäsuunnitelmia yksinomaan drooneja käyttäen. Tuoloin koettiin, etteivät menetelmät olleet riittävät, mutta tulevaisuudessa mahdollisuudet olisivat laajat. (Alaruusi 2019, 26).

Tämän opinnäytetyön kanssa samantyyppisiä tutkimuksia on tehty ainakin maanmuokkauksen työnjäljen mittaamisesta (Väisänen 2021, 29.) sekä myrskytuhojen kartoittamisesta. (Ulvinen 2022, 20 - 22.) Molemmissa töissä muodostettiin ilmakuvia yhdistämällä suuri yhtenäinen kuva eli ortokuvamosaiikki. Muodostetuista kuvista laskettiin kussakin tutkimuksessa haettuja tietoja. Ilmakuvausta hyödyntämällä päästiin maanmuokkauksen havainnoinnissa 82 % tarkkuuteen verrattuna maastossa suoritettuihin mittauksiin. (Väisänen 2021, 21.) Myrskytuhoja tarkasteltaessa puiden tilavuuksien arviointi ilmakuvista oli Ulvisen mukaan liian epätarkkaa ja tulkinnanvaraista. (Ulvinen 2022, 36-37.)

Drooneja voidaan käyttää yksittäisten kaivurilla tehtyjen mättäiden tai kaatuneen puun tilavuuden määrittämiseen, mutta myöskin suurempien kokonaisuuksien tarkasteluun ja kartoittamiseen. Esimerkiksi metsäpalojen leviämistä voidaan turvallisesti seurata droonikalustolla. Drooneja on käytetty myös metsien häviämisen vastaisessa taistelussa. (Ristola 2021, 26.)

Metsäkeskus on omaksunut toiminnassaan kopterikameroiden käytön hyvin tehokkaasti käyttämällä niitä sekä ilman tekoälyä että sitä hyödyntäen. Metsäkeskus ylläpitää ja kerää tietoa metsistä sekä valvoo metsälain toteutumista täytäten sen laissa määrättyä tehtävää metsälain valvojana. (Suomen Metsäkeskus 2022) Metsäkeskuksella kopterikameroiden käyttö keskittyy metsän uudistamisen ja harvennuksien valvontaan, metsätuhojen kartoittamiseen sekä metsälakikohteiden etsintään. (Laki Suomen metsäkeskuksesta 418/2011 1§)

Metsäkeskuksen viimeisimmässä tarkastusohjeessa monelle tarkastettavalle työlajille on selvät käytänteet eri työlajien tarkastuksille droonikalustolla. Esimerkiksi tiehankkeiden laadun arviointi suoritetaan droonikuvausten pohjalta

seuraavasti: ”Toteutusilmoituksia valitaan osa tarkastukseen niin, että ne kuva-
taan Dronella, jonka kuvaamasta ilmakuvasta tehdään tulkinnat sisätyönä.”
(Suomen metsäkeskus 2022)

4 Tutkimuksen tavoite

Opinnäytetyön tavoite oli tutkia droni-ilmakuvauksen luotettavuutta taimikon-
hoidon työnjäljen ja vaikeustason mittaamisessa. Tutkimuksen ytimessä on,
kuinka kuvauksen korkeus vaikuttaa mittausten luotettavuuteen.

Käytännössä tutkimuksen tulokset tulisivat käyttöön metsänhoitotöiden laadun-
valvonnassa sekä apuvälineenä töiden hinnoitteluun. Tutkimuksen tehtävänä lo-
pulta oli selvittää myös eri tekijöiden, kuten sääolosuhteiden ja maaston ominai-
suuksien, vaikutus droni-ilmakuvauksen luotettavuuteen metsänhoitotöiden
työnjäljen tarkastamisessa.

5 Aineistot ja menetelmät

Tutkimuksessa selvitettiin eri korkeuksilta otetuista ilmakuvista laskettujen pois-
tetun ja kasvatettavan puuston lukumäärien vertautuvuutta maastossa suoritet-
tuun ympyräkoealamittaukseen. Poistumaa määritettiin katkotun puuston runko-
jen lukumäärää laskemalla. Kasvatettavaa ja poistettavaa puustoa määritettiin
latvojen lukumääriä laskemalla.

Opinnäytetyöprosessin yhteistyökumppanina toimii metsänhoitoyhdistys Sa-
votta. Kuvatut kohteet olivat Savotan asiakkaiden metsätiloilta. Tutkimuksessa
ei ole käytetty asiakkaiden nimiä, eikä tilojen tarkkaa sijaintia mainita. Lupa

kuvausten suorittamiseen asiakkaiden tiloilla on kysytty jokaiselta maanomistajalta erikseen.

5.1 Kalusto

Opinnäytetyössä käytetty kopteri on Dji Phantom 4 Pro+. Droonissa on korkeusmittari, ja tietokoneelle on saatavilla valmistajan lennätysten suunnitteluun käytettävä ohjelmisto.

Opinnäytetyösuunnitelmassa tarkoituksena oli suunnitella lennätettävä reitti sekä mitattavat koealat ennakkoon suunnitteluohjelmistolla ja antaa kopterin lentää itsenäisesti kuvaten. Tämä kuitenkin todettiin liian riskialttiiksi johtuen maaston muodoista. Ohjelmoitu kuvauskorkeus ei olisi luotettava, koska tutkimuksessa on tarkoitus lentää hyvin matalilla lentokorkeuksilla. Matalilla lentokorkeuksilla törmäykset puiden kanssa voisivat olla mahdollisia, koska puita olisi vaikea ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Lopulta todettiin käsiohjauksella toimiminen olevan varmempi tapa tässä tutkimuksessa.

Kuvauskopterin teknisistä tiedoista voidaan mainita kameran kyky 4k-videokuvaan 30fps tarkkuudella tai 1080 p:n kuvaan 120fps tarkkuudella ja 100mbps siirtonopeudella. Yksittäisten kuvien koko on jopa 20 megapikseliä. Droonin akun kesto on 28 minuuttia kuluttavassakin lennossa. Kantamaksi luvataan optiimolosuhteissa 5 kilometriä, mutta metsäisessä ja maastonmuodoiltaan vaihtelevassa maastossa kantama todettiin huomattavasti lyhyemmäksi. (DJI 2022)

5.2 Kuvattavien kohteiden valinta

Kohteiden valikointi aloitettiin heinäkuussa 2022. Työskentelin tutkimuksen aikaan metsänhoitoyhdistys Savotassa, joten pystyin valikoimaan soveltuvia kohteita vapaasti. Kuvausten takaraja oli elokuun puolivälissä, koska kuvauskalustoa tarvittaisiin Karelia ammattikorkeakoulun omaan opetuskäyttöön.

Taimien istutusta suoritetaan kevästä maan sulamisesta noin juhannukseen asti, jonka jälkeen varsinainen taimikonhoitokausi alkaa. Soveltuvia kohteita ei ollut tarjolla juurikaan ennen istutustöiden päättymistä. Kuvausaikataulu ja metsänviljelykausi muodostivat hyvin kapean aikaikkunan kuvausten suorittamiselle.

Kohteiden valinnassa pyrittiin monipuolisuuteen. Ensimmäiseksi kohteeksi valittiin keväällä ennen maan sulamista raivattu taimikko. Toinen kohde menttiin kuvaamaan heti raivaustöiden jälkeen ja kolmatta kohdetta ei oltu vielä raivattu ollenkaan.

5.3 Kenttäkokeet

Lennätyskokeet suoritettiin kolmessa sijainnissa kolmella erilaisella kohteella. Näiden kokeiden jälkeen kerätty materiaali siirrettiin tietokoneelle ja kerätyt tiedot analysoitiin. Kenttäkokeissa käytetään mittakaavan varmistamiseen 2 m pitkää oranssia mittakaavakeppiä, jotta analysointivaiheessa pystytään määrittämään mittakaava mahdollisimman tarkasti otetuista kuvista.

Kokeen alussa sattumanvaraisesti valikoidun koealan keskelle asetetaan taulu, johon kirjoitetaan kuvion sekä koealan numero. Seuraavaksi mitataan koealalta 4 metrin koealakeppiä käyttäen halutut tiedot eli jäävän puuston lukumäärä ja poistetun tai poistettavan puuston lukumäärä. Valmisteluiden jälkeen kuvauskopteri nostetaan ilmaan ja aloitetaan kuvaaminen.

Kuvattaessa kuvan keskipiste kohdistetaan silmämääräisesti mahdollisimman tarkasti koealataulun kohdalle. Kun kuva on kohdistettu, kuvia otetaan nostoen kopterin lentokorkeutta niin, että yhdeltä koealalta saadaan noin 6–8 kuvaa 30 m:n korkeuteen saakka.

Tarkan korkeuden määrittäminen on hankalaa, koska vaikeakulkuisessa maastossa kopteri on nostettava ilmaan metsätieltä tai muulta tasaiselta alustalta. Tällöin ongelmaksi muodostuu kopterin korkeusmittarin kalibrointi

erikorkuisessa maastossa kuin kuvattava kohde. Tämän vuoksi tarkkaa kuvauskorkeutta oli mahdotonta määrittää kokeen aikaan olleen tietämyksen valossa.

Ongelma on käsitelty tutkimuksessa niin, että tarkkaa kuvauskorkeutta ei määritetä. Kuvauskorkeuden kasvaessa voidaan mittakaavakeppiä hyödyntäen kasvattaa ilmakuvauskoalan sädettä 2 m:stä aina 10 m:iin saakka. Tällöin pienemmillä koealoilla kuvan tarkkuus on parempi ja otanta pienempi. Korkealta otetuissa kuvissa kuvan tarkkuus on heikompi, mutta otanta on laajempi.

Tutkimuksessa verrataan maastossa mitattuja ympyräkoaloja dronilla kuvattuihin eri kokoihin koealoihin. Käytetyt koealat olivat säteeltään 2, 4, 6, 8, ja 10 m. Kahden metrin säteellä oleva koeala on pinta-alaltaan 12,57 m² ja kymmenen metrin säteellä oleva koeala on pinta-alaltaan 314,16 m². Vaihtelu koealojen välillä on merkittävä. Jokaista kenttäkoetta kohden mitataan kolme eri koealaa. Näistä koealoista lasketaan keskiarvo, jolloin saadaan mahdollisimman tarkka kuva poistetusta ja kasvatettavasta puustosta. Tutkimuksessa vertaillaan myös yksittäisten koealojen vastaavuutta ilmakuva- ja koealamittauksessa.

Poistumaa määritettäessä lasketaan koealalta kaikki kaadettujen puiden rungot välittämättä läpimitasta. Kasvatettavan puuston suhteen lasketaan koealalta yhteen kaikki kasvatettavan puulajin latvat.

5.4 Kerätyn tiedon analysointi

Kuvausten jälkeen materiaali siirrettiin tietokoneelle. Ensimmäiseksi kuvat leikattiin tarvittavan kokoihin koealoihin. 2 m:n koeala saatiin käyttämällä mittakaavakeppiä ympyrän säteenä sekä koealataulua keskipisteenä. Ympyräkoela leikattiin kuvasta irti käyttäen GIMP-kuvankäsittelyohjelmaa. Kun koealakokoa suurennettiin, jokaisesta kuvasta mitattiin pikseleiden lukumäärä 2 metrin koealakepin pituudelta. Tällöin saatiin 2 m:n matka samaan mittakaavaan kuvan kanssa. Kun pikseleiden määrä oli selvillä, kerrottiin luku halutulla ympyrän säteellä. Esimerkiksi 2 m:n säteen pituudeksi saadaan 300 pikseliä. Tämän

jälkeen kuvassa olevan ympyrän sädettä kasvatetaan 6 m:iin, niin, että 2 m:n mittakaavakepin pituus pikseleinä kerrotaan kuudella. Tulokseksi saadaan 1800 pikseliä, jota käytetään uuden piirrettävän ympyrän halkaisijana. Uuden piirretyn ympyrän halkaisija on 6 m.



Kuva 1. Valmiiksi leikattu ilmakuva koealakuva.

Ennen kokeiden aloittamista tehtiin päätös, piirretäänkö mitattaviin kuviin koealan kokoinen ympyrä vai leikataanko koealaympyrä kokonaan pois kuvasta. Tämän jälkeen kuvasta laskettaisiin puuston määrää. Objektivisen lopputuloksen saavuttamiseksi ympyrä päädyttiin leikkaamaan kokonaan irti kuvasta ja vasta sitten analysoitiin pelkästään koealan kokoista kuvaa. Näin vältetään puolueellisilta laskentatuloksilta, sillä kuvan ulkopuolelta ei voida havaita mukaan laskettavaa kasvuston koealalla kasvuston alle jäävää puustoa. Tutkimuksessa ydinajatuksena on tutkia, kuinka hyvin puuston määrää voidaan arvioida

suoraan kuvasta. Leikkaamalla kuvat koealan kokoisiksi voidaan havainnoida puuston absoluuttista määrää tarkasteltavassa kuvassa.

			Ilmakuvaus					
Kuvio nro	koeala nro	koealan koko	jäävän puusto	Jäävän	Vastaavuus	poistetun	poistetun	Vastaavuus
			määrä	puuston määrä	koelamittaukse	puusto määrä	puuston määrä	koelamittauks
			kpl/koeala	kpl/ha	en %	kpl/koeala	kpl/ha	een %
1	1	2	3	2387	75,0 %	5	3979	38,5 %
1	1	4	8	1592	50,0 %	3	597	9,4 %
1	1	6	24	2122	96,7 %	0	0	0,0 %
1	1	8	31	1542	48,4 %	0	0	0,0 %
1	2	2	3	2387	150,0 %	1	796	12,5 %
1	2	4	9	1790	112,5 %	0	0	0,0 %
1	3	2	3	2387	100,0 %	0	0	0,0 %
1	3	4	12	2387	100,0 %	0	0	0,0 %
2	1	2	2	1592	50,0 %	17	13528	100,0 %
2	1	4	5	995	31,3 %	27	5371	39,7 %
2	1	6	8	707	22,2 %	50	4421	32,7 %
2	1	8	14	696	21,9 %	80	3979	29,4 %
2	1	10	24	764	24,0 %	72	2292	16,9 %
2	2	2	2	1592	100,0 %	28	22282	107,7 %
2	2	4	5	995	62,5 %	62	12335	59,6 %
2	2	6	13	1149	72,2 %	72	6366	30,8 %
2	3	2	3	2387	100,0 %	38	30239	115,2 %
2	3	4	4	796	33,3 %	38	7500	28,8 %
2	3	6	15	1326	55,6 %	77	6808	25,9 %
2	3	8	25	1243	52,1 %	99	4924	18,8 %
3	1	2	2	1592	25,0 %	9	7162	33,3 %
3	1	4	5	995	15,6 %	25	4974	23,1 %
3	2	2	1	796	50,0 %	4	3183	25,0 %
3	2	4	2	398	25,0 %	23	4576	35,9 %
3	3	2	1	796	100,0 %	17	13528	106,3 %
3	3	4	4	796	100,0 %	26	5173	40,6 %

Taulukko 1. Laskentataulukko johon saadut tiedot syötettiin

Kun koealakuvat oli leikattu valmiiksi, siirryttiin laskemaan puuston määrää. Kuvat avattiin yksi kerrallaan pdf-lukuohjelmassa, jossa kuviin merkittiin värikoodatusti kasvatettava puusto (sininen) sekä poistettu tai poistettava puusto (punainen). Laskeminen aloitettiin ympyrän yläreunasta ja puustoa laskettiin myötäpäivään käyden ympyrä läpi. Laskettu puusto merkittiin kuvaan sekä laskentataulukkoon.

Poistettava puusto laskettiin kentäkokeissa 1 ja 2 kaatuneista rungoista. Rungot maalattiin kuviin punaisella ja niiden lukumäärä laskettiin. Kokeessa 3, jossa tutkittiin raivaustarvetta, ympyröitiin kuvista kasvavien lehtipuiden latvoja sekä lehtipuiden vesoja. Tiiviimmissä lehtipuuryppäissä tarkasteltiin muiden koealalla olevia lehtipuiden latvoja ja tehtiin näiden latvojen kokoisia ympyröitä niin monta kuin ryppäeseen mahtui.

6 Tulokset

Kenttäkokeet suoritettiin elokuussa 2022 Koillis-Savossa Kaavilla sekä Kuopiossa entisten Juankosken ja Nilsin kaupungin alueilla. Kokeisiin valittiin erilaisia työlajeja, kasvupohjia ja maanmuotoja, jotta saataisiin mahdollisimman kattava kuva kopterikuvauksen mahdollisuuksista sekä tietoa oikeasta kuvauskorkeudesta.

Jokaisessa kolmessa kenttäkokeessa havainnoitiin kasvamaan jäävän puuston lukumäärää. Kenttäkokeissa 1 ja 2 havainnoitiin myös poistetun puuston lukumäärää. Kokeessa 3 havainnoitiin poistettavan puuston lukumäärää.

Kuvausolosuhteet olivat vaihtelevat. Puuskittainen tuuli häiritsi lentämistä merkittävästi. Roottoreiden osuminen puihin erityisesti matalilla lentokorkeuksilla oli hyvin todennäköistä. Osuessaan puuhun roottorin lapa olisi haljennut ja droni olisi tippunut maahan.

6.1 Kenttäkoe 1: raivattu nuori taimikko

Ensimmäinen kenttäkoe suoritettiin 4 v:n ikäisessä taimikossa, johon oli tehty varhaisperkaus alkukevällä vielä osittain lumen ollessa maassa. Tämän vuoksi poistetussa puustossa ei ollut lehtiä ja poistettavaa puustoa oli vaikea havaita kasvaneen heinän takia. Havainnointia häiritsi myös edelleen selvästi näkyvät hakkuutähteet, joihin lehdettömänä kaadettu lehtipuu voidaan helposti sekoittaa analysointivaiheessa.



Kuva 2. Taimikko kenttäkokeessa 1.

Kokeen suorittamista haittasivat voimakas ja vaihteleva tuuli. Vaikeiden olosuhteiden vuoksi kaikkia kuvia ei saatu leikattua, koska korkealla lennettäessä riittävän tarkkaa materiaalia ei saatu kuvattua.

Kenttäkoe 1	Ilmakuvaus	Koealamittaus	Vastaavuus
Jäävä puusto	2074	2387	86,89 %
Poistettu puusto	1790	8488	21,09 %

Taulukko 2. Mittausten vastaavuus keskenään kenttäkokeessa 1.

Taulukossa on huomioitu kaikki kokeessa otetut ympyräkoelalat maastossa sekä ilmakuvatut koealat, joista on johdettu keskiarvot ja prosentuaalinen vastaavuus.

Tuloksista nähdään, että kasvatettavaa puustoa pystyttiin tarkkailemaan melko luotettavasti. Vastaavasti poistumaa oli erittäin vaikea havainnoida, eikä sen suhteen saatu lainkaan luotettavaa tietoa. Syy poistuman heikolle havainnoinnille on poistetun puun kaataminen lehdettömään aikaan. Myöhemmin keväällä ja kesällä poistetun puun päälle on vielä kasvanut kenttä- ja pensaskerroksen kasvit.

6.2 Kenttäkoe 2: raivattu varttunut taimikko

Kenttäkoe 2 suoritettiin varttuneessa kuusitaimikossa. Taimikko oli raivattu noin kuukauden sisällä kuvaushetkestä. Poistetun lehtipuuston lehdet olivat kuivuneet, mutta eivät olleet muuttuneet ruskeiksi (kuva 3).



Kuva 3. Kenttäkoe 2 kuvauksen kohteena ollut taimikko.

Kokeessa 2 vallitsi optimaalisimmat kuvausolosuhteet kolmesta suoritetusta kokeesta. Sää oli tyyni ja poutainen, eikä aurinko paistanut suoraan kohtisuoralta taivaalta. Varjojen muodostuminen helpotti puuston laskennassa, mutta ilmakuvien tarkkuus jäi hyvistä kuvausolosuhteista huolimatta noin puoleen ympyräkoealamittauksista (taulukko 3).

Kenttäkoe 2	Ilmakuvaus	Koealamittaus	Vastaavuus
Jäävä puusto	1187	2387	49,72 %
Poistettu puusto	10009	20160	49,65 %

Taulukko 3: Mittausten vastaavuus keskenään kenttäkokeessa 2.

Kenttäkokeen 2 mittausten vastaavuudesta huomattiin, että poistuman ja kasvatettavan puuston mittaustulokset olivat yhtä luotettavat. Siltikään vastaavuus ei ollut edes 50%.

6.3 Kenttäkoe 3: raivaamaton nuori taimikko

3. koe suoritettiin kolme vuotta sitten uudistetussa kuusitaimikossa, jossa metsänhoitotoimenpiteitä ei ole uudistamisen jälkeen tehty. Kokeen tavoitteena oli selvittää, voidaanko ilmakuvaus kartoittaa myös metsänhoitotarvetta.



Kuva 4. Kenttäkoe 3:ssa kuvattu taimikko.

Kaksi ensimmäisistä kohteista edustivat nuorta ja varttunutta taimikkoa. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon ja mihin suuntaan tulokset eroavat tarkasteltaessa raivaamatonta nuorta taimikkoa verrattuna raivattuun taimikkoon.

Kenttäkoe 3	Ilmakuvaus	Koealamittaus	Vastaavuus
Jäävä puusto	895	2918	30,68 %
Poistettu puusto	6433	18303	35,14 %

Taulukko 4. Kenttäkoe 3:n mittausten perusteella muodostettu taulukko, josta nähdään koealamittauksen ja ilmakuvaus vastavuus toisiinsa.

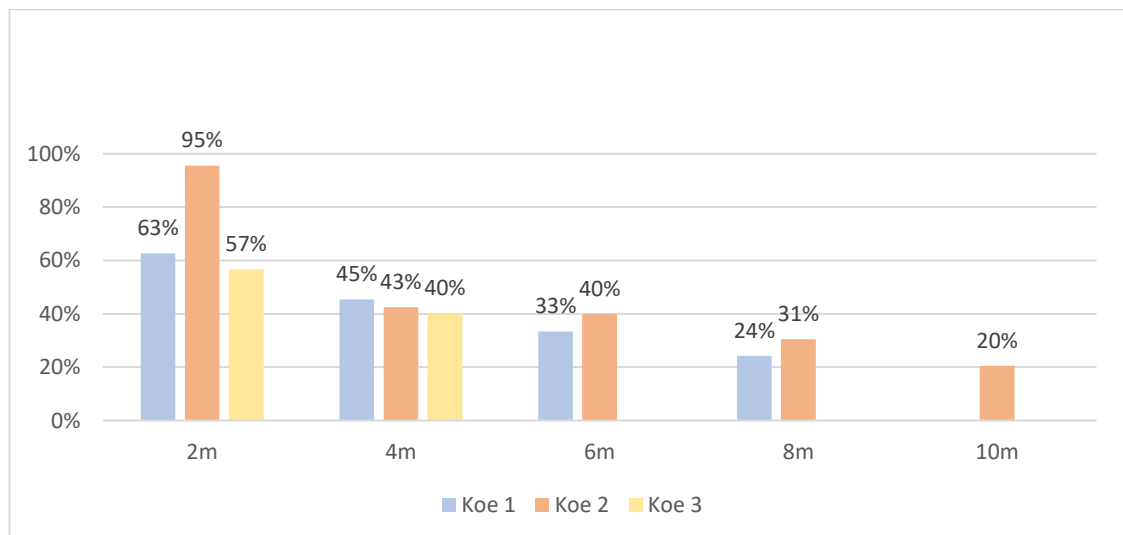
Kenttäkoe 3 suoritettiin taimikossa, jossa metsänhoitotoimenpiteitä ei oltu vielä toteutettu tarpeesta huolimatta. Tavoitteena oli selvittää, kuinka tarkasti raivaustarvetta voitiin tarkastella. Kolmannen kokeen tulokset eivät ole suoraan verrannollisia kahden ensimmäisen kokeen tuloksiin poistuman osalta, koska

kokeessa 3 pyrittiin etsimään vielä kasvavaa poistettavaa puustoa. Muissa kokeissa mitattiin jo sahattua eli poistettua puustoa. Kasvatettavan puuston osalta tuloksia voidaan suoraan verrata toisiinsa.

6.4 Tulosten taulukointi ja analysointi

Analyysia varten tehtiin erillinen laskentataulukko. Laskentataulukon tehtävä oli muuttaa erikokoisten koealojen mittaukset vastaamaan lukumäärää hehtaarilta, jotta tuloksia voitiin verrata keskenään. Taulukkoon tehtiin oma sarake laskemaan prosentuaalista vastaavuutta maastomittausten ja ilmakuvausten välillä.

Tulosten analysointi aloitettiin kuvauskorkeudesta. Oheisessa kuvaajassa (kuvio 1) on jaoteltu kokeiden tulokset kuvauskorkeuksien mukaan. Taulukossa on verrattu kuvauksen perusteella poistuman sekä kasvatettavien puiden määriä yhdessä ympyräkoealamittauksessa saatuihin määriin.

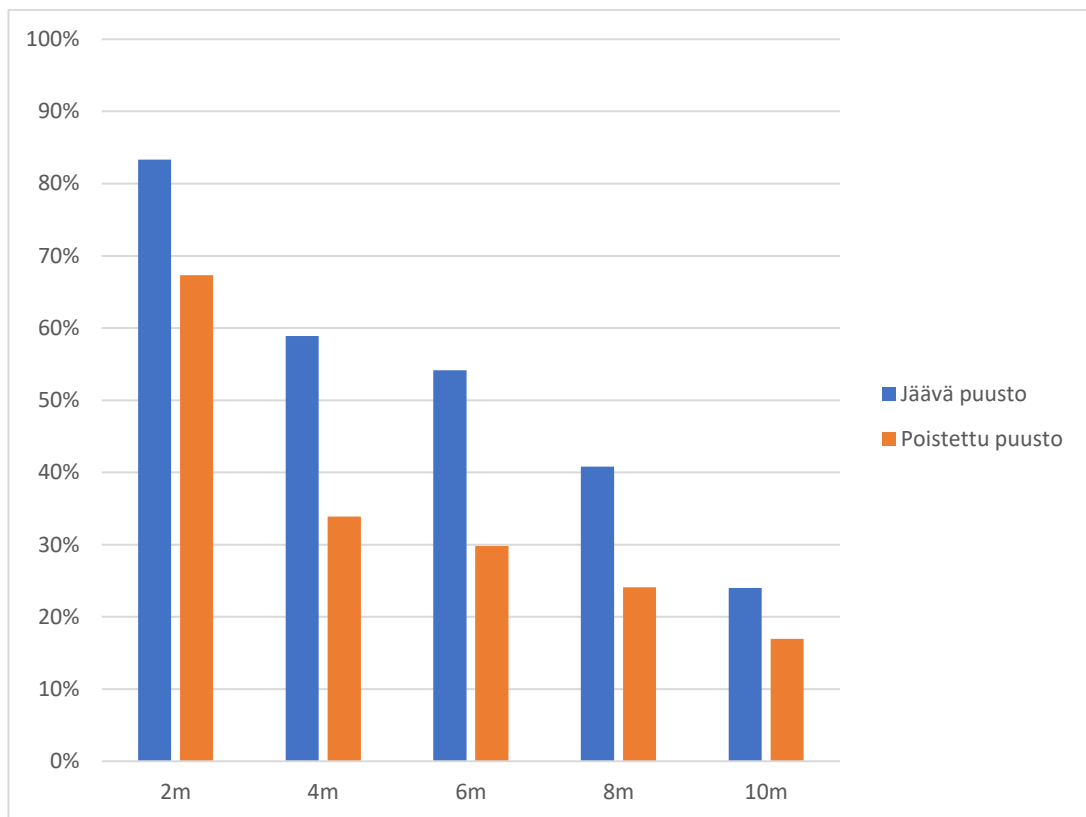


Kuvio 1. Kuvauskorkeuden vaikutus mittauksen tarkkuuteen.

Kuviossa 1 esitetään prosentuaalinen vastaavuus ympyräkoealamittauksen sekä ilmakuvauksen välillä. Taulukon vaaka-akselilla näkyy mitatun koealan

säteen pituus ja pystyakselilla vastaavuus prosentuaalisesti ympyräkoalamittaukseen.

Taulukosta voidaan todeta, että kuvauskorkeuden kasvaessa mittausten tarkkuus heikentyy. Jokaisessa kokeessa tulosten luotettavuus heikentyy, kun ilmakuvauksen koalaa kasvatetaan eli silloin, kun kuvaus suoritetaan korkeammalta.

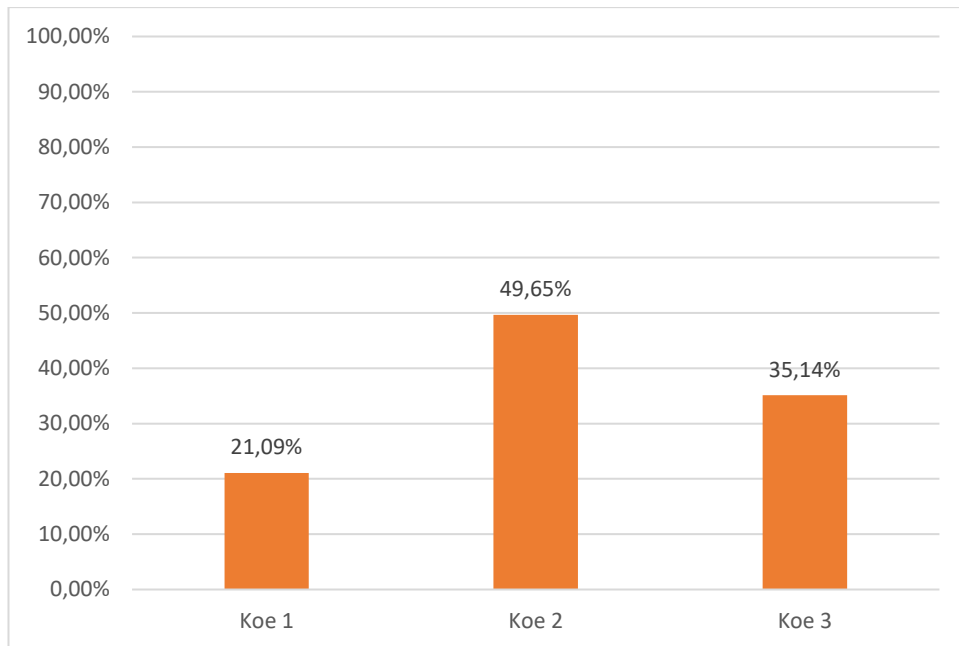


Kuvio 2. Ympyräkoalojen vastaavuus ilmakuvaukseen jaoteltuna kasvatettavaan ja poistettavaan puustoon.

Vertailtaessa kasvatettavan ja poistetun tai poistettavan puuston havainnoinnin tuloksia, nähdään, että kasvatettavan puuston määrästä saadaan jokaiselta kuvauskorkeudelta luotettavampaa tietoa kuin poistettavasta puustosta. Tulosten heikkeneminen kuvauskorkeuden kasvaessa on havaittavassa myös tästä taulukosta.

Poistetun puuston suhteen päästään parhaimmillaan vain vajaan 70 % mittaus-tarkkuuteen. Matalalta kuvattaessa tarvitaan enemmän kuvattavia koaloja,

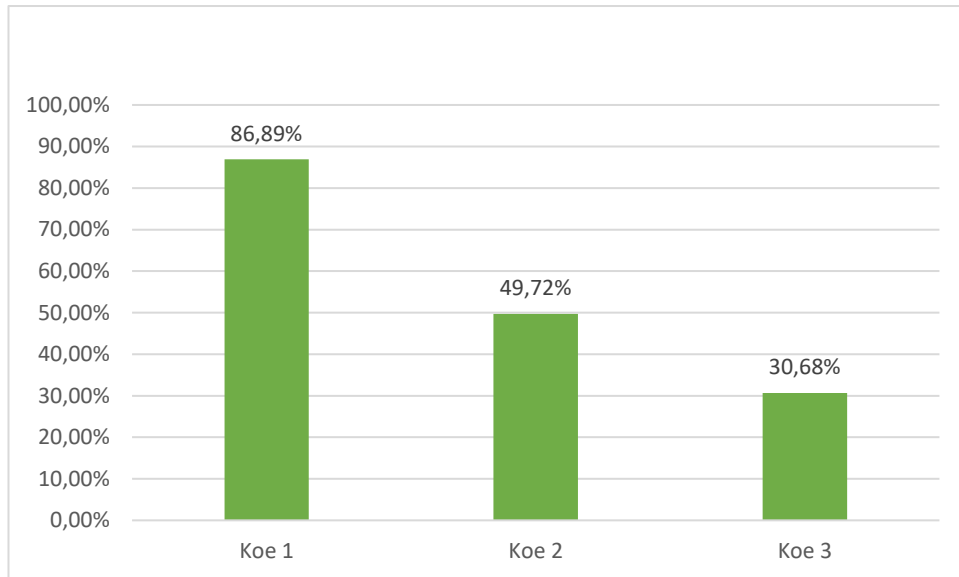
jotta koko mitattavan kuvion poistuma saadaan mitattua luotettavasti. 4 metrin koealoilta poistuman tarkkuus on alle 35 %, mikä ei riitä luotettavaan mittaamiseen.



Kuvio 3. Ympyräkoealojen vastaavuus ilmakuvaukseen, poistettava puusto.

Kuviossa 3 on verrattu poistumasta saatuja tietoja keskenään. Prosenttiosuuden muodostavat kaikkien ilmakuvattujen koealojen keskiarvon suhde kaikkien ympyräkoealamitattujen koealojen keskiarvoon kultakin kenttäkokeelta erikseen. Keskiarvojen muodostamisella pyritään havainnollistamaan koko kuvion keskimääräistä puustoa ja tutkimaan, asettuvatko kahden eri mittaustavan keskiarvot yhtä suuriksi.

Tuloksista voidaan todeta edelleen, että poistetun tai poistettavan puuston havainnointi ilmasta käsin ei ole kovinkaan lupaavaa. Parhaimpaan vastaavuuteen pääsevät kenttäkokeen 2 tulokset, joissa tarkkuus on noin 50 %. Kokeessa 2 poistettava puusto oli järeämpää kuin muissa kokeissa, mikä teki niiden havaitsemisesta helpompaa. Poistettavaa puustoa oli runsaasti, mikä osaltaan toisaalta vaikeutti tarkkaa määrittämistä.



Kuvio 4. Ilmakuvauksella suoritettujen mittausten keskiarvon suhde koealmitattujen koealojen keskiarvoon.

Vastaavat laskelmat kasvatettavan puuston osalta ovat huomattavasti lupavampia. Paras tulos saadaan kokeessa 1, jossa vastaavuus on 86,89 %. Kuitenkin merkille pantavaa on, että kokeessa 2 kasvatettavan puuston sekä poistettavan puuston mittausten vastaavuus on miltei identtinen.

Kokeiden tulosten keskinäinen heilahtelu on merkittävää. Heilahtelu vähentää osaltaan ilmakuvauksen luotettavuutta. Jo aiemmin tutkimuksessa tuli esille, että kuvauksen luotettavuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Vaikuttavia tekijöitä olivat esimerkiksi kenttä- ja pensaskerroksen kasvillisuuden rehevyys, maaston muodot ja vuorokauden aika, sää sekä puuston pituus. Näiden ominaisuuksien takia virhemarginaali heittelee merkittävästi eri kuvauskohteiden välillä.

Virhemarginaalia on vaikea määritellä ennalta, joten ilmakuvauksella saadut tulokset ovat itsessään hyvin epäluotettavia. Vakion virhemarginaalin laskemiseksi tarvittaisiin suuri otanta eri mittauksia, joissa olisi edustettuina edellä mainittuja ympäristön ja olosuhteiden ominaisuuksia.

7 Pohdinta

Tutkimuksen kohteet valittiin tarkoituksella hyvin erilaisista kasvuluokista ja maastoista. Valinta tehtiin, jotta kopterikameralla tehtävään mittaamiseen löydetäisiin mahdollisimman vaihtelevat olosuhteet sekä parhaiten soveltuvat työlajit ja kasvuluokat. Olemassa olevilla resursseilla ei kuitenkaan kyetty suorittamaan riittävän laajaa tutkimusta, jotta vakioitua virhemarginaalia, metsätyyppiä tai kasvuluokakohtaista virhemarginaalia voitaisiin määrittää. Tutkimus oli kuitenkin tarpeellinen avaus ilmakuvauksen mahdollisuuksiin myös metsänhoitoa tarkasteltaessa.

7.1 Tulosten tarkastelu

Kokeiden tulokset muistuttivat yllättävän paljon toisiaan. Kuviosta 1 voidaan havaita, että ilmakuvauksen luotettavuus laskee miltei lineaarisesti kuvauskorkeutta nostettaessa ja koealan kokoa laajennettaessa.

Parhaat tulokset saavutettiin kuvattaessa mahdollisimman matalalla. Luotettavin tulos saatiin laskettaessa jäävän puuston määrää niin, että kuvattu koeala on 2 metriä. Tämä tarkoittaa, että kuvaaminen on tehty mahdollisimman matalalta. Poistumaa tutkittaessa parhaat tulokset saatiin niin ikään matalalla lennettäessä. Yksi mahdollinen selitys paremmille tuloksille voi olla potkurien tuottaman ilmavirran vaikutus näkyvyyttä haittaavaan heinään.

Vaikka tulokset eivät olleet riittävän luotettavia tarkkaan mittaamiseen, on drooneilla muita käytännön hyötyjä metsänhoidon piirissä. Esimerkiksi droonien välittämästä live-kuvasta voidaan hyvin nopeasti havaita mahdolliset poikkeamat puuston tasalaatuisessa kasvussa tai voidaan havainnoida, onko koko taimikkoa käsitelty. Jalkaisin koko taimikon kiertämiseen menisi huomattavasti enemmän aikaa kuin droonilla tämän tarkastamiseen. Droonien mahdollisuudet

taimikonhoidon osalta liittyvätkin pitkälti kokonaiskuvan havainnointiin, eikä niinkään tarkkojen lukujen tai tunnusten laskemiseen.

Tutkimuksessa kerätystä materiaalista ei luotu ortokuvamosaiikkia vaan tietoja poimittiin yksittäisistä kuvista. Ulvisen (2022) ja Väisäsen (2021) tutkimuksissa saatiin tarkempia tuloksia mitattavista kohteista, molemmissa tutkimuksissa luotiin ortokuvamosaiikki, jota käytettiin pohjana tietojen keräämiselle ja laskemiselle. Ortokuvamosaiikin muodostaminen myös tässä tutkimuksessa olisi mahdollisesti parantanut mittaustulosten luotettavuutta.

7.2 Luotettavuus

Kuvaukset suoritettiin kolmessa toisistaan poikkeavassa kuusitaimikossa.

Otanta on suppea huomioon ottaen suomalaisten tai edes itäsuomalaisten metsien ja kasvupaikkojen moninaisuuden. Laajemmalla otannalla saataisiin haaru-koitua monipuolisemmin ilmakuvausten soveltuvuutta ja määritettyä reunaehdot luotettavalle kuvaamiselle. Lopulta voitaisiin laskea dronikuvaamiselle luotettava virhemarginaali.

Metsien ja taimikoiden tarkkaan runkolukupohjaiseen inventointiin tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella droni-kuvaus on liian epätarkkaa. Kuitenkin esimerkiksi metsäpalveluyrityksen taimikonhoitotöiden vaikeus- ja taksatason määrittämiseen lähi-ilmakuvaus voi olla täysin riittävä. Tällöin tarkkuudeksi voisi riittää puiden poistumassa esimerkiksi 10000 puuta. Vaikeustason määrittäminen ei niinkään perustuisi laskennallisiin määriin, vaan silmämääräiseen arvioon työn vaikeudesta.

Suomalaisten metsien peitteisyys on hyvin vaihtelevaa. Kenttä- ja pensaskeroksen määrä ja laatu ovat avainasemassa tarkasteltaessa taimikonhoitotöiden jälkeistä poistumaa. Esimerkkinä tästä on koe 2, jossa heinän määrä oli huomattavasti vähäisempää kuin muissa kuvauskohteissa. Tämä näkyi välittömästi tarkempina mittaustuloksina poistuman suhteen. Samassa kokeessa puusto oli

huomattavasti pidempää kuin muissa kokeissa ja suuremmat latvat peittivät huomattavasti suuremman osan kuvattavasta maastosta. Kuvausolosuhteet siis vaihtelevat huomattavasti.

Kuvien analysoinnissa oli omat haasteensa. Toisin kuin Ulvisen tutkimuksessa (Ulvinen, 2022) käytössä ei ollut maksullisia ohjelmistoja, eikä ortokuvamosaiikkia voitu luoda kuvatusta materiaalista. Edellä mainituista syistä kuvien analysointi oli paikoin hyvin haasteellista. Usein ryppäissä kasvavat vesakot kaadetaan kerralla, jolloin ne kaatuvat samaan suuntaan toistensa päälle. Tarkan lukumäärän laskeminen tällaisista ryppäistä on hankalaa ja oksien sekoittaminen kaatuneisiin puihin vaikuttaa mittaustarkkuuteen erityisesti suuren poistuman kohteilla. Varttuneemmissa taimikoissa kasvavien puiden oksat varjostavat jo huomattavan osan kuvattavasta pinta-alasta. Oksistojen alle jäävän poistuman laskeminen on haastavaa ja epätarkkaa. Käytössä olevilla resursseilla suoritettu tutkimus antoi kuitenkin todella hyvän käsityksen lähi-ilmakuvauksen mahdollisuuksista ja ennen kaikkea sen heikkouksista.

7.3 Jatkokehitysmahdollisuudet

Tällä hetkellä mm. suomalainen yritys Nordic Drones valmistaa maanmittaus- ja kartoituskäyttöön ammattilaistason drooneja. Näihin drooneihin on mahdollista integroida laserkeilain ja multispektri- sekä lämpökamera. (Nordic Drones 2022.) Edellä mainituilla varusteilla drooni-kuvaamisen sekä kuvantamisen tarkkuus ja mahdollisuudet olisivat varmasti aivan eri luokkaa kuin yksityiskäyttöön valmistetuilla drooneilla, jota tässä tutkimuksessa käytettiin.

Metsänhoidossa katteet ovat pieniä, joten tuhansien eurojen hintaiset droonijärjestelmät eivät ole yksittäiselle toimijalle kovinkaan kannattavia hankintoja. Alalla ei toistaiseksi vielä toimi kovin montaa drooniyritystä, jotka keskittyisivät yksinomaan metsätalouteen. Tämä huomioon ottaen kehitystyö aihepiirissä ei ole nopeaa.

Lähi-ilmakuvauksessa on varmasti vielä merkittävä määrä tutkittavaa metsänhoidossa. Yhtenä kehityskohteena nostetaan esille tekoälyn mahdollisuudet kuvadatan analysoinnissa. Tiettyjä värisävyjä maastosta haarukoimalla voitaisiin tekoälyn avulla laskea myös metsänhoitotöissä tärkeitä tunnuksia.

Optimaalitulanteessa raivatun alueen yli voitaisiin lentää ottaen kuvia. Kuvat ajettaisiin tarkastusohjelman läpi, joka poimii kuvista kasvatettavan puuston latvuksia sekä poistetun puuston runkoja.

Jatkokehittämisen suurimpana uhkana voidaan nähdä kustannukset. Metsänhoitotöiden tarkastaminen ei itsessään ole tuottavaa liiketoimintaa, joten oletettavasti alan toimijoilla ei ole suurta mielenkiintoa rahoittaa kallista tutkimusta.

7.4 Johtopäätökset

Tutkimuksen johtopäätökset ovat selvät. Ensimmäisenä johtopäätöksenä voidaan mainita kuvattavien kohteiden maaston ja olosuhteiden vaihtelevuuden merkitys dronikuvaamisessa. Tutkimusta tarvittaisiin huomattavasti enemmän, jotta voitaisiin laskea tarvittavia virhemarginaaleja sekä korjauskertoimia erilaisille kohteille. Korjauskertoimesta esimerkkinä voitaisiin käyttää varttuneemassa taimikossa ylhäältä päin kuvattaessa näkyvyyden peittävien latvojen alle jäävän poistuman simulointia.

Seuraavaksi selvitän lyhyesti muutamia kuvauksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Kuvaustilanteessa lentosään tulisi olla poutainen ja tyyni parhaan tarkkuuden saamiseksi. Navakka ja puuskittainen tuuli ja sade sulkevat kuvaamisen mahdollisuuden kokonaan pois. Metsätyyppi vaikuttaa olennaisesti kuvista poimittavien puiden havainnointiin. Mitä enemmän peittävää aluskasvillisuutta kenttä- ja pensaskerroksessa on, sitä vaikeampaa on puiden luotettava laskeminen kuvista. Taimikon ikä vaikuttaa mittausten luotettavuuteen. Taimikon kasvaessa latvukset peittävät jatkuvasti suuremman osan koealojen pinta-alasta, joka osaltaan vaikuttaa mittaustuloksen luotettavuuteen.

Tutkimuksessa esitettyjen tulosten valossa voidaan todeta seuraavaa: dronilla ilmakuvausten suorittaminen yksityishenkilöille saatavilla olevalla kalustolla ilman jatkokehitettyjä analysointiohjelmistoja on sellaisenaan liian epätarkkaa, jotta kerättyä tietoa voitaisiin käyttää metsänhoitotöiden hinnoittelussa tai hintojen tarkastuksessa. Kuvauksen luotettavuuteen vaikuttavat tässä tutkimuksessa esille tulleet ulkoiset asiat, jotka vääristävät tuloksia vaihtelevasti.

8 Lähteet

- Airforestry AB. 2022. <https://www.airforestry.com/en/>. 23.10.2022.
- Alaruusi, A. 2019. Dronejen hyödyntäminen metsätaloudessa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060314523>. 4.11.2022
- DJI. Phantom 4 pro Info. 2022. <https://www.dji.com/fi/phantom-4-pro/info>. 23.10.2022.
- Droneinfo. 2022. Avoin kategoria. <https://droneinfo.fi/fi/luvasta-vapaa-toiminta-avoin-kategoriassa>. 3.11.2022.
- Droneinfo. 2022. Missä ei saa lennättää. <https://droneinfo.fi/fi/missa-ei-saa-lennattaa> 3.11.2022.
- Euroopan komission delegeoitu asetus 945/2019.
- Geotrim Oy. YellowScan LiDAR. 2022. <https://geotrim.fi/tuotteet/uas/yellowscan/>. 23.10.2022.
- Haataja, L., Pölonen, V., Saksa, T. & Sipilä, K. 2014. Metsänhoitotöiden oma-valvontaopas. Joensuu: Metsäntutkimuslaitos.
- Inno-CAD Oy. 2022. <https://www.innocad.com/>. 23.10.2022.
- Karte, S. 2020. Drone-kuvauspalveluiden lähitulevaisuus metsäalalla. Tampereen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005077696>. 4.11.2022.
- Kielitoimiston sanakirja. 2022. <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/drone>. 23.10.2022.
- Kestävän metsätalouden määräaikainen rahoituslaki 34/2015
- Laki Suomen metsäkeskuksesta 418/2011.
- Metsälinkki Oy. Mittauspalvelut. 2022. <https://www.metsalinkki.fi/>. 23.10.2022.
- Nikula, J. 2017. Drone-elektroniikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta. Kandidaatintyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201710252047>. 4.11.2022.
- Nordic Drones. Tuotetiedot. 2022. <https://nordicdrones.fi/tuotteet/tuotetiedot/>. 10. 23.2022.
- Panttila, H. ja Valta, R.-O. 2022. Droonit tutkimuskäytössä <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/droonit-tutkimuskaytossa/>. 23.10.2022.
- Ristola, T. 2021. Miehittämättömien ilma-alusten markkinat ja niiden lisäarvo maa- ja metsätaloudelle, rakennusteollisuudelle ja medialle. LUT-yliopisto. Tuotantotalouden koulutusohjelma. Kandidaatintyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2021051730199>. 4.11.2022
- Ruotsalainen, H. 2017. Metsä Groupin taimikonhoidon vaikeusluokitus. Karelia ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017111016888>. 4.11.2022.
- Saksa, T., Miina, J. ja Uotila K. 2016. Taimikonhoito – tavoitteet, menetelmät ja kustannukset. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Silvadrones. 2022. <https://www.silvadrones.fi/>. 23.10.2022.
- STT INFO. 2020. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/stora-enson-pienoiskopterit-kuvasivat-tuhansia-puita-hyonteistuho-on-mahdollista-havaita-ylailmoista?publisherId=69817586&releaseId=69882029>. 23.10.2022
- Stora Enso. 2022. <https://www.storaenso.com/fi-fi/innovation/digitalisation-in-stora-enso/digitalisation-of-forest-operations>. 23.10.2022.

- Suomen Metsäkeskus. Lait, tuet ja julkisen vallan käyttö. 2022.
<https://www.metsakeskus.fi/fi/tietoa-meista/toiminnan-painopisteet/lait-tuet-ja-julkisen-vallan-kaytto>. 23.10.2022.
- Suomen metsäkeskus. Tarkastusohje 2022. 13. 5 2022.
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tarkastusohje.pdf>
. 23.10.2022.
- Ulvinen, J. 2022. Myrskytuhojen kartoittaminen droonilla. Karelia ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022052211011>. 4.11.2022
- Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta 314/2021
- Väisänen, T. 2021. Drone-kuvauksen käyttö metsänuudistamisessa laikkumätästyksen visuaalisessa laadunvalvonnassa. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu.
<http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20211148>. 4.11.2022
-