

MYRSKYTUHOMETSİKÖN ARVIOINTI  
DRONE-MITTAUKSELLA

Kimmo Ojala

Opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma  
Metsätalousinsinööri (AMK)

2023

Metsätalouden koulutusohjelma  
Metsätalousinsinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Kimmo Ojala	Vuosi	2023
<b>Ohjaaja</b>	Kari Pasanen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Stora Enso Forest Finland		
<b>Työn nimi</b>	Myrskytuhometsikön arviointi drone-mittauksella		
<b>Sivumäärä</b>	32		

---

Myrskytuhojen ennustetaan lisääntyvän ilmaston muuttuessa. Myrskytuhoalueella liikkuminen on hidasta ja laajojen alueiden tarkistaminen maastotyönä vie suuren osan metsäasiantuntijan työajasta. Stora Enso Metsässä kehitetään tarkempia, nopeampia ja turvallisempia menetelmiä ja toimintatapoja myrskytuhoalueiden leimikonsuunnitteluun ja uudistamistöiden määrittelyyn.

Tässä tutkimuksessa selvitetään, onko dronella suoritetun ilmakuvauksen ja fotogrammetrisen mittauksen avulla muodostetun ortokuvan perusteella mahdollista tuottaa laadukkaita toimenpide-ehdotuksia myrskytuhoalueilla tuottavammin kuin perinteisellä maastotyöllä.

Tutkimuksen kohteet olivat Stora Enson asiakkaiden tekemiä toimeksiantoja Paula-myrskyn tuhoalueella. Kohteet ilmakuvattiin dronella kesällä 2022. Metsäasiantuntijat käyttivät ilmakuvista muodostettua ortokuvaa apuna toimenpide-ehdotusten luomiseen ja vertasivat menetelmää maastotyönä tehtävään suunnitteluun.

Stora Enson drone-kehityshankkeen osana suoritettavat ilmakuvaukset toivat tarpeellista tietoa myrskytuhoalueen kaukokartoitukseen soveltuvasta tekniikasta, menetelmistä ja tehokkuudesta. Metsäasiantuntijoille saatiin luotua tehokkaampi ja turvallisempi toimintamalli myrskytuhoalueella työskentelyyn.

Dronella tuotetun ortokuvan avulla pystytään myrskytuhot paikallistamaan nopeammin kuin maastotyönä. Myös metsikkökuvioinnissa ortokuvan käyttö nopeuttaa työtä huomattavasti. Pelkän ortokuvan perusteella ei pysty tekemään luotettavaa toimenpide-ehdotusta. Avuksi tarvitaan ajan tasalla oleva metsävaratieto tai muu kohteen tuntemus.

**Avainsanat** fotogrammetria, kaukokartoitus, metsänuudistus, metsäsuunnittelu, miehittämättömät ilma-alukset, myrskytuhot

Forestry  
Forestry Engineer

---

<b>Author</b>	Kimmo Ojala	Year	2023
<b>Supervisor</b>	Kari Pasanen		
<b>Commissioned by</b>	Stora Enso Forest Finland		
<b>Subject of thesis</b>	Assessment of storm damage forest with drone measurement		
<b>Number of pages</b>	32		

---

Storm damage is predicted to increase as the climate changes. Moving through the storm wind fallen forest is slow. Checking large areas as field work takes a large part of the forestry expert's working time. At Stora Enso Forest, more accurate, faster, and safer methods and operating procedures are being developed for the forest planning in storm damaged areas.

This thesis investigates is it possible to produce better quality operation proposals in storm wind fallen forests more productively based on the orthoimage formed by means of drone aerial photography and photogrammetric measurements than with traditional field work.

The subjects of the research were assignments made by Stora Enso's customers in the area affected by the Paula-storm. The sites were aerial photographed with a drone in the summer of 2022. The forestry experts used the orthoimage created from the aerial photos as forest planning in creating operation proposals. The method was compared to the forest planning as field work.

The aerial photography carried out as part of Stora Enso's drone development project brought necessary information about the technology, methods, and efficiency suitable for remote sensing of the storm damaged forests. It was possible to create a more efficient and safer operating procedure for forestry experts to work in the storm damaged forests.

With the help of an orthoimage produced by a drone, it is possible to locate storm damage faster than field work. The use of an orthoimage in forest compartment work also speeds up the work considerably. It is not possible to make a reliable operation proposal based on an orthoimage alone. Up to date forest inventory data or other knowledge of the forest compartment is needed for help.

**Key words** photogrammetry, remote sensing, reforestation, forest planning, unmanned aerial vehicle, storm damage

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 MYRSKYTUHOT .....	7
2.1 Tuulituhot .....	7
2.2 Paula-myrsky .....	8
2.3 Myrskytuhot lainsäädännössä .....	9
3 METSÄNKÄSITTELY MYRSKYTUHON JÄLKEEN .....	10
3.1 Metsikkökuvio .....	10
3.2 Metsävaratieto .....	11
3.3 Hakkuutavat .....	12
3.4 Uudistaminen .....	13
4 DRONE-MITTAUS .....	16
4.1 Drone-tyypit ja käyttötarkoitukset .....	16
4.2 Dronea koskeva lainsäädäntö .....	17
4.3 Kaukokartoitus dronella .....	18
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET .....	21
5.1 Tutkimuksen vaiheet .....	21
5.2 Tutkimusaineisto .....	21
5.3 Ilmakuvaus ja ortokuvan tuottaminen .....	22
5.4 Ortokuvan hyödyntäminen .....	23
5.5 Tutkimuksen tulokset .....	24
5.5.1 Myrskytuholeimikon suunnittelu drone-mittauksella .....	24
5.5.2 Uudistamistöiden suunnittelu drone-mittauksella .....	25
5.5.3 Ajankäytön vertailu .....	27
6 POHDINTA .....	30
LÄHTEET .....	31

## ALKUSANAT

Kiitos Stora Enso Forest Finland ja tutkimus- ja kehityspäällikkö Pekka Alajärvi mahdollisuudesta tehdä mielenkiintoinen ja käytännönläheinen omaan työhöni liittyvä opinnäytetyö.

Kiitos myös drone-kehitysohjelman Mikolle ja Villelle hankkeesta, jossa sai kehittää omaa osaamistaan uuden tekniikan käytössä. Kiitos drone-harjoittelija Mattiakselle tutkimuksen kannalta tärkeimmän aineiston keräämisestä ja muille metsäasiantuntijoille menetelmän arvioinneista.

Eriytinen kiitos esimiehelleni Joelille ja silloiselle aluejohtaja Esalle mahdollisuudesta päästä metsäasiantuntijaksi kotipaikkakunnalle, vaikka olin ollut pitkään muissa tehtävissä ja jatko-opiskelut olivat vielä kesken. Olette olleet tukemassa ja kannustamassa työn ja opiskelun yhteensovittamisessa ja uskoneet, että ”vanhakin mies” voi oppia uutta.

Kiitos Lapin AMK:lle mahdollisuudesta opiskella monimuoto-opetuksena. Ilman tällaista mahdollisuutta ei työn ja opiskelun yhteensovittaminen onnistuisi. Kiitos myös innostavalle opettajalle ja opinnäytetyöni ohjaajalle Karille lukemattomista mielenkiintoisista keskusteluista luennoilla monipuolisen RA64M19S-ryhmämme kanssa.

Suurin kiitos kaikesta kuuluu rakkaalle vaimolleni Helille. Olet joutunut viettämään monta yksinäistä iltaa, kun olen istunut luurit päässä luennoilla. Olet kannustanut viemään neljän vuoden urakan loppuun asti. Suuri kiitos myös lapsilleni perheenne. Aleks ja Janni sekä Jenni olette olleet korvaamaton apu kodin, työn ja opiskelun haasteellisten aikataulujen yhteensovittamisessa. Tämän savotan jälkeen keskityn papan silmäterä Ainun kanssa tutkimaan tätä ihmeellistä maailmaamme.

## 1 JOHDANTO

Myrskytuhojen ennustetaan lisääntyvän ilmaston muuttuessa. Kesällä 2021 Koillismaalla riehuneen Paula-myrskyn jälkeen Stora Enso Metsässä nähtiin tarvetta kehittää tarkempia, nopeampia ja turvallisempia menetelmiä ja toimintatapoja myrskytuhoalueiden leimikon suunnitteluun ja uudistamistöiden määrittelyyn.

Myrskytuhoalueella liikkuminen on hidasta ja laajojen alueiden tarkistaminen maastotyönä vie suuren osan metsäasiantuntijan työajasta. Joillakin alueilla liikkuminen voi olla vaarallista tai kokonaan mahdotonta. Näistä seikoista ja tuhon laajuudesta johtuen leimikon suunnittelun tarkkuus voi heikentyä. Myös hakkuun yhteydessä voidaan joutua muuttamaan alkuperäistä suunnitelmaa, jos säästyneen puuston määrä osoittautuu liian pieneksi, eikä metsikkö ole enää kehityskelpoinen. Uudistamiskuvioiden pinta-ala ja sijainti voi muuttua, jolloin uudistamistöiden määrien selvittämiseksi alueet joudutaan tarkistamaan uudestaan.

Tässä tutkimuksessa selvitetään, onko dronella suoritetun ilmakuvausten ja fotogrammetrisen mittauksen avulla muodostetun ortokuvan perusteella mahdollista tuottaa laadukkaita toimenpide-ehdotuksia myrskytuhoalueilla tuottavammin ja turvallisemmin kuin perinteisellä maastotyöllä. Tutkimuksen painopisteenä on uudistamiseen liittyvien toimenpide-ehdotusten onnistuminen ortokuvan perusteella. Myös menetelmän soveltuvuutta hakkuuehdotuksen tuottamiseksi myrskytuhoalueella selvitetään.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimiva Stora Enso tutkii aktiivisesti dronen käyttöä erilaisissa metsäteollisuuden tarpeissa. Hyviä tuloksia ja käyttökohteita dronen käyttöön on saavutettu puutavaravarastojen inventoinnissa ja kirjanpajatuhojen kartoituksessa. Tämä tutkimus on osa kehityshanketta, jossa selvitetään kuluttajakäyttöön tarkoitettun dronen käyttöä metsäasiantuntijan työkaluna ja dronella tuotetun aineiston hyödyntämisestä metsäasiantuntijan työssä.

Opinnäytetyö sisältää oman työkokemuksen kautta saatua tietoa myrskytuhoalueiden leimikon ja uudistamistöiden suunnittelusta. Tieto perustuu käytännön työhön metsäasiantuntijana Paula-myrskyn tuhoalueella Pudasjärvellä ja Taivalkoskella.

## 2 MYRSKYTUHOT

Voimakkaiden myrskytuulien ennustetaan lisääntyvän ilmastonmuutoksen myötä. Talvet muuttuvat lauhemmiksi ja sateisemmiksi ja tuulituhojen määrä metsissä lisääntyy, kun routa ei sido juuristoa. (Viiri, Viitanen, Mutanen & Leppänen 2019.)

Suomessa on 2000-luvulla kaatunut myrskyissä arviolta 28 miljoonaa kuutiometriä puuta. Muutamien kymmenien tai satojen tuhansien kuutiometriä myrskytuhoja esiintyy vuosittain. Merkittävimmät myrskyt ovat aiheuttaneet 7–8 miljoonan kuutiometrin tuhot. (Viiri ym. 2019.)

### 2.1 Tuulituhot

Tuulisuus on vähentynyt Suomessa 1950-luvulta lähtien. Potentiaalisten metsätuhopäivien määrä ei kuitenkaan ole vähentynyt. Metsätuhojen määrään vaikuttaa tuulisuuden ohella roudan määrä, joka on ilmaston lämmetessä vähentynyt. Voimakkaiden myrskymatalapaineiden määrän ennustetaan vähenevän, mutta kesäiset rajuilmat lisääntyvät Pohjois-Euroopassa. (Gregow, Rantanen, Laurila & Mäkelä 2020, 9.)

Myrskyksi luokitellaan tuuli, jonka keskinopeus ylittää kymmenen minuutin aikana 21 metriä sekunnissa (Ilmatieteen laitos 2023a). Metsätuhoja aiheuttavat jo huomattavasti alemmat tuulennopeudet. Tyypillisesti tuulituhota syntyy 13–18 metrin sekunnissa keskituulennopeuksilla, jolloin tuulenpuuskat voivat olla voimakkuudeltaan jopa 30 metriä sekunnissa. Roudan vähenemisen seurauksena lumiset puut voivat kaatua jopa 8–13 metrin sekunnissa keskituulennopeuksilla, kuten kävi Pyry-myrskyssä marraskuussa 2001. (Venäläinen ym. 2020.)

Tuulituhota aiheuttavat myrskyt luokitellaan syntymekanismien mukaan myrskymatalapaineiksi tai rajuilmoiksi (Ilmatieteen laitos 2023b). Myrskymatalapaineet syntyvät keskileveysasteilla horisontaalisen lämpötilaeron vaikutuksesta. Tuulet ovat laaja-alaisia ja pitkäkestoisia. Myrskymatalapaineita esiintyy yleisimmin syksyllä ja talvella. (Ilmatieteen laitos 2023a.)

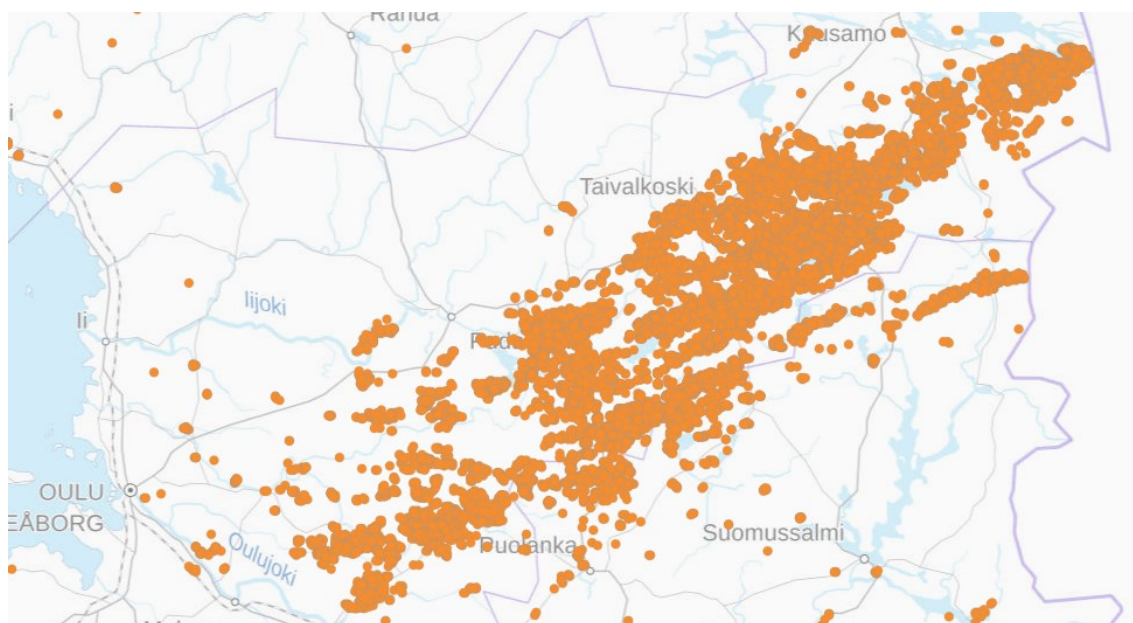
Rajuilmat liittyvät ukkospilviin. Ne ovat lyhytkestoisia ja paikallisia. Rajuilmoja esiintyy lähinnä kesällä. Tällä vuosisadalla suurimmat metsätuhot ovat aiheutuneet rajuilmojen seurauksena. (Ilmatieteen laitos 2023c.)

## 2.2 Paula-myrsky

Koillismaalla ja Kainuussa 22.6.2021 riehunut Paula-myrsky kaatoi noin 4 miljoonaa kuutiometriä puuta. Määrä on kolmanneksi suurin 1970-luvulla alkaneessa tilastoinnissa. (Metsäkeskus 2022a.)

Eniten tuulivahinkoja tapahtui Taivalkoskella, jossa kaatui noin 1,4 miljoonaa kuutiometriä puuta. Myös Pudasjärvellä ja Kuusamossa vahingot olivat laajoja. Puuta kaatui molemmissa noin 700 000 m<sup>3</sup>. (Metsäkeskus 2022b.)

Paula-myrsky oli erittäin voimakas rajuilma. Myrsky kulki nopeasti poikki Suomen Oulun eteläpuolelta Kuusamon eteläpuolelle. Metsänkättilöimötukset osoittavat hyvin Paula-myrskyn reitin (Kuvio 1). Pahimmat tuhot keskittyivät Koillismaalle Iijokilaakson alueelle. (Metsäkeskus 2023.)



Kuvio 1. Paula-myrskyn jälkeen 22.6.2021 – 31.5.2022 tehdyt metsänkättilöimötukset myrskytuhohakkuista (Metsäkeskus 2023)



Metsänkättilöilmoitusten perusteella Paula-myrsky aiheutti tuhoja yhteensä noin 55 000 hehtaarin alueella. Tämän lisäksi puunkorjuun ulkopuolelle jäävillä luonnonsuojelualueilla tuhoja oli noin 3 000 hehtaarin alueella. (Metsäkeskus 2022b.)

### 2.3 Myrskytuhot lainsäädännössä

Laki metsätuhojen torjunnasta velvoittaa keräämään tuulenkaadot ylimenevältä osalta, jos kaatuneita tyviläpimitaltaan yli kymmenen senttimetrin vahvuisia kuusasia on enemmän kuin kymmenen kuutiometriä hehtaarilla tai tyviläpimitaltaan yli kymmenen senttimetrin vahvuisia kaarnoittuneita mäntyjä on enemmän kuin 20 kuutiometriä hehtaarilla (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013 6.1–2 §). Puut on kuljetettava pois laissa ilmoitettuihin määräaikoihin mennessä (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013 3 §).

Metsälaki velvoittaa maanomistajan taikka hallintaoikeuden tai muun sellaisen erityisen oikeuden haltijan tai hänen valtuuttamansa tekemään metsänkäsittelyilmoituksen metsätuhon seurauksena tehtävästä hakkuusta. Metsätuhon takia tehtävässä hakkuussa on ilmoitettava myös tuhon aiheuttaja. (Metsälaki 1093/1996 5:14.1 §.) Laajoissa eläviin puihin kohdistuneissa tuhoissa ei tarvitse noudattaa kymmenen päivän odotusaikaa hakkuun aloittamiseksi (Metsälaki 1093/1996 5:14.4–5 §).

Paula-myrskyn tuhojen kartoitus ja puunkorjuu käynnistyivät välittömästi. Metsäkeskus ilmoitti nopeasti, ettei metsänkättilöilmoituksen odotusaikaa tarvitse noudattaa myrskystä kärsineissä kunnissa 28.6.2021 – 31.12.2021 (Metsäkeskus 2021a). Lain velvoitetta poistaa vaurioituneet puut seuraavan kesän määräaikoihin mennessä ei pystytty täysin toteuttamaan (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013 3 §). Hankalimpia kohteita olivat talvikorjuukelpoiset metsiköt, joilla kaatuneet puut olivat hajallaan ja kertymät pieniä. Puiden löytyminen lumen alta oli vaikeaa tai määrät niin pieniä, että korjuu oli kannattamatonta, jolloin puunkorjuulle ei löytynyt tekijää. Tällaisia kohteita on edelleen korjaamatta.

### 3 METSÄNKÄSITTELY MYRSKYTUHON JÄLKEEN

#### 3.1 Metsikkökuvio

Metsikkökuvio on metsäalue, jossa kasvupaikka, puuston kehitysvaihe ja metsikön käsittelytarve ovat yhteneväiset (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2019, 18). Myrskytuhoon seurauksena metsikkökuviot voivat muuttua merkittävästi. Metsikkökuviot voivat pirstaloitua useampiin osiin, jos osalle metsikkökuvioista joudutaan tekemään uudistushakkuu ja osalla metsikkökuvioista pystytään säästämään kasvatuskelpoinen puusto (Kuvio 2). Eri kehitysluokassa olleita metsikkökuvioita voidaan myös yhdistää myrskytuhoon jälkeen tehdyn uudistushakkuun seurauksena, jos kasvupaikka, maaperä ja uudistamistoimenpiteet ovat keskenään samanlaisia (Kuvio 3).

Kuviosta 2 nähdään, että myrsky on kaatanut metsikkökuvion 33 länsireunalta puuston. Alueelle on jouduttu tekemään uudistushakkuu. Hakkuun seurauksena puustotieto on muuttunut. Muuttuneesta alueesta on luotu uusi metsikkökuvio 35 (Kuvio 2). (Stora Enso Metsä 2023.)



Kuvio 2. Metsikkökuvion pirstaloituminen (Stora Enso Metsä 2023)

Kuvion 3 esittämässä tilanteessa uusi metsikkökuvio 44 on muodostunut myrskytuhon jälkeen seitsemästä metsikkökuvioista, joilla on kasvanut eri kehitysvaiheissa olevia puustoja. Alkuperäinen metsikkökuviointi näkyy ortokuvassa vihreällä (Kuvio 3). (Stora Enso Metsä 2023.)



Kuvio 3. Metsikkökuvioiden yhdistäminen (Stora Enso Metsä 2023)

Alkuperäiset metsikkökuviot ovat kasvupaikaltaan ja myrskytuhon seurauksena tulevilta toimenpiteiltään yhteneväisiä. Metsikkökuvioiden yhdistäminen on uudistushakkuun jälkeen mahdollista.

### 3.2 Metsävaratieto

Suomessa Metsäkeskus ylläpitää avointa metsävaratietoa. Metsävaratieto perustuu kaukokartoituksella kerättyyn tietoon, jota täydennetään eri lähteistä saa-

tavalla tiedolla ja pidetään ajan tasalla laskelmilla. Metsäkeskuksen metsävaratietoa on saatavilla metsikkökuvioina ja hilaruutuina. (Metsäkeskus 2022c, 3.) Useimmilla metsäalan toimijoilla on käytössään oma metsävaratieto, jonka pohjana on avoin metsävaratieto. Stora Enso Metsän paikkatieto-ohjelmassa ylläpidetään ja päivitetään asiakkaiden metsävaratietoa tehtyjen toimenpiteiden jälkeen ja avoimessa metsävaratiedossa huomattujen puutteiden korjaamiseksi.

Metsävaratiedon oikeellisuus on erittäin tärkeää myrskytuhon jälkeen tehtävien toimenpiteiden määrittämisessä. Luotettava ajan tasalla oleva metsävaratieto vähentää maastotyön tarvetta ja nopeuttaa korjuun aloittamista. Puuston ja puutaralajien määrän ja korjuukelpoisuuden oikea arviointi on edellytyksenä leimikon suunnittelulle ja korjuun resurssoinnille. Puuston järeydellä on merkittävä vaikutus korjuukustannuksiin ja järeysarvion osuvuudella puusta maksettavaan hintaan. Laajan myrskytuhon seurauksena tulevien uudistamistöiden suunnittelua ja toteutusta auttavat metsävaratiedon kasvupaikka- ja maaperätiedon paikkansa-pitävyys.

Avoimen metsävaratiedon tarkkuus ei ole metsäalan toimijoiden mielestä riittävää leimikon suunnitteluun. Puutaralajien määrien ja laadun määrittäminen edellyttää lähes aina maastotyötä. (Kangas & Packalen 2018.) Avoimen metsävaratiedon kasvupaikka- ja maaperäluokituksessa käytetään ensisijaisesti aiempien maastoinventointien tietoa tai niiden puuttuessa muita tietolähteitä, joiden tarkkuus on heikompi. (Metsäkeskus 2022c, 7.) Tässä tutkimuksessa tehtyjen maastotöiden perusteella avoimen metsävaratiedon maaperäluokituksessa on merkittäviä puutteita. Maalaji ja kivisyys sekä kangas- ja turvemaiden rajaus on yleensä tarkistettava maastossa.

### 3.3 Hakkuutavat

Säästyneen puuston määrä ja laatu ovat ratkaisevia tekijöitä määritettäessä oikeaa hakkuutapaa myrskytuhon jälkeen. Jos säästyneen puuston pohjapinta-ala jää alle lakirajan, metsikköön kohdistuu uudistamisvelvoite (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 1308/2013 2:2 §). Hakkuutavat eivät muuten poikkea normaaleista metsänkäsitelytavoista.

Uudistushakkuutapoina voidaan käyttää tasaikäisrakenteisissa metsiköissä avo-, siemenpuu-, suojuspuu- ja kaistalehakkuuta (Äijälä ym. 2019, 121). Hakkuutavan valintaan vaikuttavat säästyneen puuston määrä ja laatu, uudistamismenetelmä ja omistajan tahto. Luontaiseen uudistamiseen tähtäävissä hakkuissa on syytä kiinnittää erityistä huomiota siemen- ja suojuspuiksi jäävien puiden kuntoon. Pystyyn jääneiden puiden juuristo voi olla heikentynyt ja puut voivat kaatua herkemmin seuraavan myrskyn tai tykyn seurauksena.

Tasaikäisrakenteisen metsikön kasvatushakkuussa myrskytuhon jälkeen on arvioitava säästyneen puuston kasvattamisen kannattavuutta. Metsikköä voidaan edelleen kasvattaa, jos kasvatuskelpoisen puuston määrä ylittää lakirajan. Kasvattaminen on taloudellisesti kannattavaa, jos heti ja tulevaisuudessa saatavat hakkuutulot tuottavat suuremman nettonykyarvon kuin välitön uudistaminen (Äijälä ym. 2019, 140). Harvennusmallit auttavat määrittämään rajat, joiden sisällä pysyttäessä päästään hyvään puuntuotannolliseen ja taloudelliseen tulokseen (Äijälä ym. 2019, 140).

Myös eri-ikäisrakenteisessa metsikössä tehtävät toimenpiteet myrskytuhon jälkeen perustuvat säästyneen puuston määrään ja laatuun. Eri-ikäisrakenteisen metsikön pohjapinta-alan lakirajat ovat alhaisemmat kuin tasaikäisrakenteisessa metsikössä (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 1308/2013 2:2 §). Hakkuutapoina voidaan käyttää poiminta- ja pienaukkohakkuuta sekä jatkuvan kasvatuksen siemenpuuhakkuuta (Äijälä ym. 2019, 148–156). Myrskytuho voi aiheuttaa luontaisen siirtymän jatkuvaan kasvatukseen tehdessään metsikköön pienialaisia aukkoja ja kaataessaan suurimpia puita. Tämän seurauksena voi olla kannattavaa kasvattaa säästynyttä puustoa arvokkaammaksi ja säästää kustannuksissa käyttämällä luontaista uudistamista.

### 3.4 Uudistaminen

Myrskytuhon seurauksena tehdyn uudistushakkuun jälkeen käytettävät uudistamismenetelmät eivät poikkea suositusten mukaisista menetelmistä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää laajojen avohakkuualojen kuviotiedon säilymiseen. Kasvu- paikka- ja maaperätiedoltaan erilaisia metsikkökuvioita ei pidä yhdistää, koska uudistamismenetelmät ja metsikön muut jatkotoimenpiteet voivat olla erilaisia.

Laajan myrskytuhon seurauksena uudistamistyöt voivat viivästyä, koska siemen- ja taimituotannon lisäys ei onnistu kovin nopeasti. Myös maanmuokkaukseen tarvittavien koneiden resurssit voivat olla riittämättömiä. Luontaista uudistamista kannattaa suosia, mikäli se on säästyneen puuston, kasvupaikan, maalajin ja omistajan tahdon mukaan mahdollista.

Oikean uudistamismenetelmän valinnassa tulee noudattaa metsänhoidon suosituksia (Taulukko 1). Taulukossa 1 on merkitty pohjoisessa Suomessa suositeltavat uudistamistavat vihreällä. Keltaisella on merkitty varauksin suositeltavat uudistamistavat. Lisäksi taulukkoon on merkitty suositeltava maanmuokkaustapa seuraavasti, 0 on muokkaamaton, P on maanpintaa paljastava maanmuokkaus ja K on kohoumia muodostava maanmuokkaus. (Äijälä ym. 2019, 71–82). Laajan avohakkuualueen käsittely yhdellä menetelmällä voi johtaa epäonnistumiseen, jos kasvupaikka- ja maaperätiedon vaihtelua alueella ei ole huomioitu riittävän hyvin.

Taulukko 1. Puulajin ja uudistamismenetelmän valinta kivennäismailla pohjoisessa Suomessa (Äijälä ym. 2019, 74)

Kasvupaikka- tyyppi	Lehtomainen kangas tai sitä viljavampi			Tuore kangas			Kuivahko kangas			Kuiva kangas		
	Hieno	Keski- karkea	Karkea	Hieno	Keski- karkea	Karkea	Hieno	Keski- karkea	Karkea	Keski- karkea	Karkea	
Maalaji												
Mänty, istutus					P/K	P	K					
Mänty, kylvö					P <sup>2</sup>	P		P	P	P		
Mänty, siemenpuu						P		P	P	0	0	
Kuusi <sup>1</sup> , istutus	K	K	K	K	K							
Kuusi <sup>1</sup> , kaistale	0	P/0	P/0	0	P/0							
Kuusi <sup>1</sup> , suojuspuu	0 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>							

1. Kuuselle uudistamista tulisi välttää kuivumiselle alttiilla paikoilla (karkea maapohja, ohut maakerros, ylärinteissä ja laki-alueilla) sekä juurikäävän tartuttamilla alueilla.

2. Heinittymisen riski.

3. Taimettumisen merkit on oltava selvästi nähtävissä.

Paula-myrsky kaatoi runsaasti auraamalla uudistettuja 30–50-vuotiaita viljelymänniköitä. Palleaurausta käytettiin Pohjois-Suomessa yleisesti 1960-luvulta 1990-luvun alkuun saakka (Laine, Luoranen & Ilvesniemi 2019, 8–9). Aiemmin aurattujen alueiden maanmuokkaus Paula-myrskyn tuhoalueilla onnistui hyvin

noudattamalla suosituksia. Rehevämmillä kasvupaikoilla käytettiin erilaisia mätätystyömenetelmiä ja karummilla kasvupaikoilla kaivurilaikutusta, jatkuvatoimista laikutusta tai äestystä aurasvakojen syvyyden ja maaperän mukaan.

Äestysten ja konekylvön onnistumista epäiltiin alueilla, joilla oli paljon tuulenkaatojen juurakoita ja juurakoissa tyven hiekkaisuuden takia jääneitä pitkiä kantoja. Paula-myrskyn jälkeisenä kesänä saadun kokemuksen perusteella nämä eivät kuitenkaan olleet este muokkauksen toteuttamiselle ja konekylvön onnistumiselle.



## 4 DRONE-MITTAUS

Drone-mittauksella tuotetaan metsävaratietoa dronella kuvatusta aineistosta fotogrammetrian avulla. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään dronella kuvatusta ilmakehävaikeuksista fotogrammetriaa käyttäen saatua ortokuvaa.

### 4.1 Drone-tyypit ja käyttötarkoitukset

Drone on miehittämätön ilma-alus (UAV) tai miehittämätön ilma-alusjärjestelmä (UAS), jota ohjataan joko kauko-ohjauksella, automaattisesti tai itsenäisesti. Dronet ovat yleistyneet yksityisessä ja kaupallisessa käytössä sekä viranomaiskäytössä. (Traficom 2023a.)

Droneja on erityyppisiä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yleisimmät tyypit ovat multikopteri ja kiinteäsiipinen drone. Multikopteri toimii kuten helikopteri (Kuvio 4). Multikoptereita käytetään pienempien alueiden valo- ja videokuvaukseen, kartoitukseen ja tarkkailuun. (Traficom 2023a.)



Kuvio 4. Neliroottorinen multikopteri (Stora Enso Metsä 2023)



Kiinteäsiipinen drone toimii kuten lentokone. Kiinteäsiipisiä droneja käytetään laajempien alueiden kuvaukseen, kartoitukseen ja tarkkailuun. Dronet voivat painaa muutamasta grammasta tuhansiin kiloihin. Drone voidaan varustaa erilaisilla kameroilla, mittalaitteilla tai muulla hyötykuormalla. (Traficom 2023a.)

#### 4.2 Dronea koskeva lainsäädäntö

Dronen käyttöä ohjaavassa lainsäädännössä on tapahtunut muutoksia viime vuosina. Suomessa dronen käyttöä ohjaa ilmailulaki (Ilmailulaki 864/2014) ja Euroopan Unionin asetus miehittämättömillä ilma-alusjärjestelmillä harjoitettavasta toiminnasta (Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 947/2019). Toimivaltaisena viranomaisena Suomessa toimii Liikenne- ja viestintävirasto Traficom (Ilmailulaki 864/2014).

Dronen lennättämisen yhtenäistävä EU-asetus tuli voimaan 31.12.2020. Asetuksessa ei enää erotella harrastus- ja yritystoimintaa. Kaikkien yli 250 grammaa painavien tai kameralla varustettujen dronejen käyttäjien täytyy rekisteröityä ja suorittaa koe. Dronen käyttö on luokiteltu avoin, erityinen ja sertifioitu kategorioihin. Suurin osa käytöstä kuuluu avoimeen kategoriaan, jolloin toiminta ei vaadi erillistä lupaa. (Traficom 2023b.)

Avoimessa kategoriassa toimiessa tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Suurin sallittu lennätyskorkeus on 120 metriä maan pinnasta.
- Droneen on oltava näköyhteys.
- Suurin sallittu lentoonlähtömassa on 25 kg.
- Vaarallisten aineiden kuljettaminen on kielletty.
- Esineiden pudottaminen on kielletty.
- Ilmailun kielto, rajoitus ja vaara-alueet on huomioitava.
- UAS-ilmatilavyöhykkeet on huomioitava.
- Ihmisiin on pidettävä turvaetäisyys.
- Ihmisjoukkojen päällä ei saa lennättää. (Traficom 2023b.)

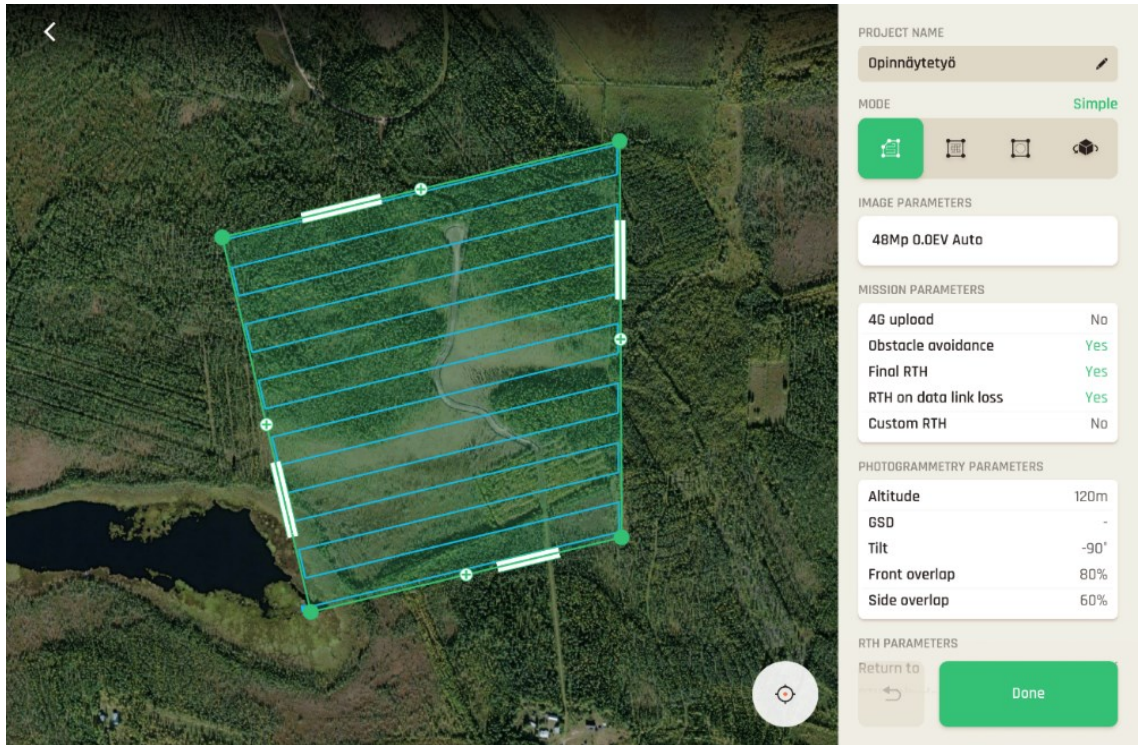
UAS-ilmatilavyöhykkeitä voidaan perustaa Traficomin päätöksellä rajoittamaan dronen lennättämistä. Niillä voidaan kieltää tai rajoittaa lennättämistä sellaisissa paikoissa, joissa lennättäminen voi aiheuttaa vaaraa lentoliikenteelle tai muulle turvallisuudelle. (Traficom 2023c.)

### 4.3 Kaukokartoitus dronella

Nykyään jo kuluttajakäyttöön tarkoitetulla dronella pystytään kuvaamaan riittävän laadukasta ilmakuvaa kaukokartoitusaineiston tuottamiseksi. Ortokuva on yleinen metsätaloudessa käytetty kaukokartoitusaineisto. Ortokuva tuotetaan ilmakuvausaineistosta fotogrammetrian avulla. Ortokuvassa kaikilla elementeillä on sama mittakaava ja virheetön kohtisuora näkymä (Teittinen 2017, 19).

Ilmakuvaukseen käytettävä drone on varustettu kameralla, jossa on riittävä tarkkuus ja paikannuslaitteella. Kamera täytyy olla kalibroitu ja kameran kalibrointi- ja sijaintitietojen pitää olla tiedossa, että ortokuva pystytään muodostamaan laskennallisesti fotogrammetrialla. Ilmakuvauksessa dronella lennetään ennalta suunniteltuja linjoja siten, että sekä lentosuunnassa että vierekkäisiltä linjoilta otetut kuvat ovat osittain päällekkäin (Kuvio 4). Päällekkäisistä kuvista määritettyjen samojen pisteiden ja kameran sijaintitiedon avulla saadaan tuotettua kohtisuoraan ylhäältäpäin tarkasteltava ortokuva, joka pystytään sitomaan koordinaatteihin ja karttaan. (Teittinen 2017, 16–20.)

Ilmakuvan tarkkuus riippuu kamerasta, kuvausasetuksista, kuvauskorkeudesta ja olosuhteista. Vierekkäisten kuvauslinjojen kuvien päällekkäisyyden säädöllä on suuri merkitys lennettävien linjojen määrään. Ilmakuvauksen tehokkuus paranee ja käsiteltävän kuvausaineiston määrä pienenee säätämällä kuvauskorkeus mahdollisimman suureksi ja kuvien päällekkäisyys mahdollisimman pieneksi suhteessa haluttuun tarkkuuteen (Kuvio 4). (Stora Enso Metsä 2023.)



Kuvio 4. FreeFlight 7-sovelluksella luotu lentosuunnitelma (Stora Enso Metsä 2023)

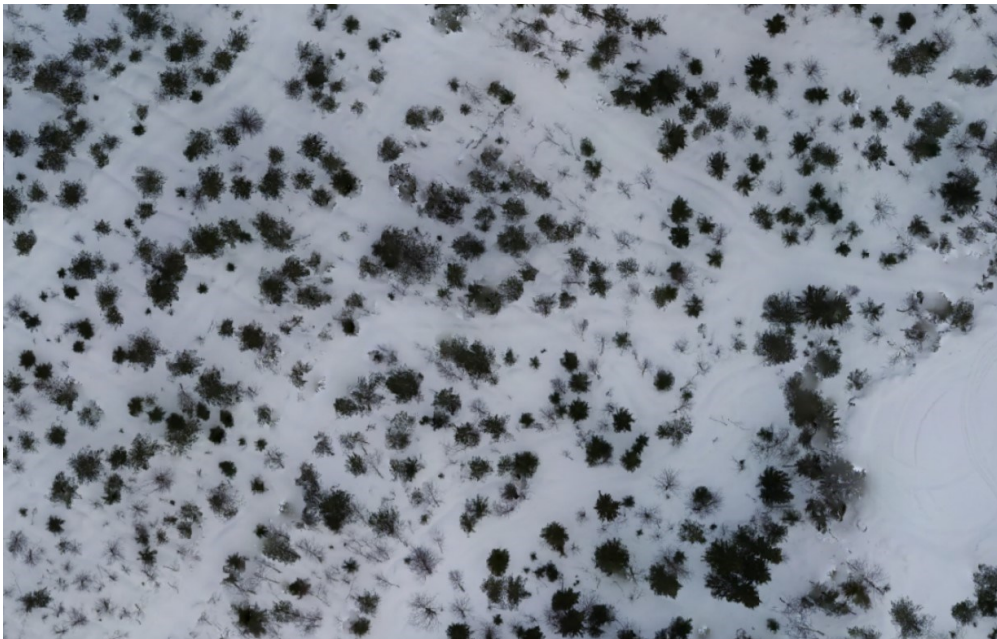
Stora Enso on kehittänyt dronella kuvatun aineiston käsittelyyn ja julkaisuun oman selainpohjaisen drone-alustan. Drone-alustalla ilmakuvista muodostetaan ortokuva kaupallisen fotogrammetriaohjelman avulla. Ortokuva julkaistaan Stora Enson paikkatieto-ohjelmassa kaikkien käyttäjien nähtävissä olevana karttatasona. (Stora Enso Metsä 2023.)

Kuvioissa 5 ja 6 havainnollistetaan ilmakuvan ja ortokuvan eroa (Kuviot 5 ja 6). Kuviot esittävät samaa paikkaa. Ilmakuvan reunoilla kohteet ovat vääristyneitä (Kuvio 5) (Stora Enso Metsä 2023). Ilmakuvaa ei sellaisenaan voi käyttää karttatasona paikkatieto-ohjelmassa.



Kuvio 5. Dronella kuvattu ilmakekuva (Stora Enso Metsä 2023)

Ortokuvassa kohteet näkyvät kohtisuoraan ylhäältäpäin (Kuvio 6) (Stora Enso Metsä 2023). Kohteet ovat keskenään oikeassa mittakaavassa. Ortokuva pystytään kiinnittämään koordinaatistoon ja kuvaa voidaan käyttää paikkatieto-ohjelmassa karttatasona.



Kuvio 6. Fotogrammetriaohjelmalla muodostettu ortokuva (Stora Enso Metsä 2023)

## 5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET

### 5.1 Tutkimuksen vaiheet

Päätös opinnäytetyönä tehtävästä kehittämispainotteisesta tutkimuksesta tehtiin keväällä 2022 Stora Enso Metsän toimeksiantona. Tutkimuksen tekijä työskentelee itse metsäasiantuntijana tutkimusalueella.

Osana Stora Enson drone-kehityshanketta Pudasjärvelle oli tulossa metsätalous-insinööriopiskelija harjoitteluun touko-heinäkuun 2022 ajaksi tehtävänäan ilmakuvausten suorittaminen dronella. Kohteita kerättiin kevään ja kesän 2022 aikana. Ilmakuvaukset suoritettiin lumen sulamisen jälkeen toukokuun lopun ja heinäkuun 2022 välisenä aikana.

Metsäasiantuntijat hyödynsivät kuvattua aineistoa työssään ja elokuun 2022 lopussa pidettiin palaveri, jossa kaikki kuvatut kohteet käytiin läpi. Metsäasiantuntijat arvioivat kuvauksista saatua hyötyä ja arviot kirjattiin ylös. Arvioita tarkennettiin haastatteluissa syksyllä 2022. Aineistoon ja arviointeihin perustuvat tutkimuksen tulokset koostettiin syksyn 2022 ja kevään 2023 välisenä aikana.

### 5.2 Tutkimusaineisto

Alueen metsäasiantuntijat keräsivät tutkimusta varten todellisia toimenpide-ehdotusta vaativia kohteita ilmakuvattavaksi. Kohteet olivat jo hakattuja myrskytuhokohteita, joihin tehtiin tarjous uudistamistöistä tai vielä hakkaamattomia myrskytuhokohteita, joihin tehtiin tarjous hakkuista ja uudistamistöistä. Kohteita oli viiden metsäasiantuntijan ostoalueilla Pudasjärven, Taivalkosken, Kuusamon ja Suomussalmen kunnissa.

Kuvattavia kohteita kertyi 38 kappaletta. Metsäasiantuntija päätti kuvattavan alueen rajauksesta. Useimmiten kuvattiin koko tila. Kohteiden pinta-ala vaihteli 5–210 hehtaarin välillä. Kokonaisalaa kertyi 1941 hehtaaria.

Elokuun lopun seurantalaveriin mennessä kohteista oli tehty 12 hakkuusopimusta tai -tarjousta ja 22 uudistamissopimusta tai -tarjousta. Kohteilla oli hyödynnetty dronella hankittua ortokuvaa. Metsäasiantuntijat tekivät arviot ortokuvan



hyödystä ja käytettävyydestä toimenpide-ehdotuksen tuottamisessa omissa koh-teissaan. Metsäasiantuntijoiden huomioita tarkennettiin vielä haastatteluissa.

### 5.3 Ilmakuvaus ja ortokuvan tuottaminen

Drone-harjoittelija suoritti ilmakuvaus metsäasiantuntijoiden tilausten mu-kaan. Ilmakuvaus laadun kehittämiseksi ja menetelmän tehokkuuden seuraami-seksi lennoista kirjattiin ylös lennetyn alueen pinta-ala, käytetty aika, kuvien määrä, kuvausasetukset, säätiedot ja muita tarpeellisia tietoja.

Kuvaukset tehtiin Parrot Anafi Ai-dronella (Kuvio 7). Parrot Anafi Ai on itsenäi-seen ilmakuvaukseen suunniteltu helppokäyttöinen kuluttajaluokan drone. (Par-rot 2023, 7–14.)



Kuvio 7. Parrot Anafi Ai-drone ja -ohjain (Parrot 2023, 7)

Lentämiseen ja lentosuunnitelmien luomiseen käytettiin Apple iPadiin ladattua Parrotin FreeFlight 7-sovellusta. Dronen ohjaimen kiinnitetystä iPadista pystyy seuraamaan lennon edistymistä ja säätämään tarvittavia parametrejä. Myös ka-meran kuva näkyy reaaliaikaisena. Ilmakuvaus suoritettiin 120 metrin korkeu-desta. Kamera oli kohdistettu suoraan alaspäin ja kuvien päällekkäisyys eteen-päin oli 80 prosenttia ja sivulle päin 60–80 prosenttia.

Ilmakuvaukset tehtiin 17.5. – 25.7.2022 välisenä aikana. Lentoja suoritettiin aina sään salliessa. Sateella ja liian kovalla tuulella ei voi lentää. Ilmakuvauksen onnistumiseksi tuulenvoimakkuuden tulisi olla alle kymmenen metriä sekunnissa. Hyvä valaistus on tärkeää kuvan laadun kannalta. Pilvipoutaisella säällä kuviin ei muodostu häiritseviä varjoja.

Drone-harjoittelija latsasi ilmakuvausaineiston Stora Enson drone-alustalle prosessoitavaksi ja ilmoitti metsäasiantuntijoille ortokuvan valmistumisesta. Kohteen kuvaukseen, kuvien lataukseen, ortokuvan valmistumiseen ja latautumiseen paikkatieto-ohjelmaan kului yleensä 2–3 vuorokautta.

#### 5.4 Ortokuvan hyödyntäminen

Metsäasiantuntijat käyttivät Stora Enso Metsän paikkatieto-ohjelmaan ladattua ortokuvaa apuna myrskytuhoalueiden uudistamistöiden ja leimikon suunnittelussa. Paikkatieto-ohjelmassa ortokuvan päällä näkyvät muut halutut tasot ja ortokuvan avulla voidaan esimerkiksi muokata metsikkökuvioita. Ortokuvaa voi tarkentaa niin, että pienetkin kohteet voidaan erottaa kuvasta. Esimerkiksi yksittäisten, hajallaan olevien tuulenskaatojen laskeminen kuvasta on helppoa (Kuvio 8).



Kuvio 8. Tuulenskaatoja harvennushakkuukuviolla (Stora Enso Metsä 2023)

Menetelmän käytettävyydestä ja tarkkuudesta, sekä maastotöiden tarpeesta tehtiin havaintoja, jotka kirjattiin seurantalaverissa kohteittain samaan taulukkoon lennoista tehtyjen huomioiden kanssa. Muutamia kohteita kartoitettiin sekä perinteisten menetelmien ja maastotyön avulla että dronella hankittua aineistoa käyttäen. Tarkoitus oli verrata työhön käytettyä aikaa eri menetelmien välillä.

## 5.5 Tutkimuksen tulokset

Tutkimuksen tulokset koostettiin syksyn 2022 ja kevään 2023 välisenä aikana. Tulokset perustuvat kaikista kuvatuista kohteista drone-harjoittelijan tekemiin huomioihin ja kirjauksiin ilmakuvausten suorittamisesta sekä metsäasiantuntijoiden kokemuksiin ja kirjauksiin ortokuvan käytöstä. Omista kohteistani oli kirjaukset myös käytetystä työajasta eri menetelmillä. Metsäasiantuntijoiden tekemiä huomioita tarkennettiin haastatteluissa syksyn 2022 aikana (Kainulainen 2022; Pesälä 2022).

Tutkimuksessa saatujen kokemusten perusteella myrskytuhoalueiden arviointi pelkästään drone-mittauksella toimenpide-ehdotusten tuottamiseksi ei ole mahdollista. Kuitenkin ortokuvan avulla pystytään tekemään metsikkökuvointi riittäväällä tarkkuudella. Tämä vähentää huomattavasti maastotyöhön käytettyä aikaa ja tehostaa metsäasiantuntijan työtä.

### 5.5.1 Myrskytuholeimikon suunnittelu drone-mittauksella

Myrskytuholeimikon suunnittelu ei useimmissa tapauksissa onnistu pelkän ortokuvan perusteella. Suunnittelun tueksi tarvitaan sellaista puusto- ja maaperätietoa, joka ei ole ortokuvasta tulkittavissa. Mikäli metsäasiantuntija tuntee kohteen hyvin tai metsävaratiedon ajantasaisuuteen voidaan luottaa, on mahdollista tehdä toimenpide-ehdotus ortokuvan perusteella. Useimmiten tarvitaan kuitenkin tarkentava maastokäynti.

Suurin hyöty ortokuvasta saadaan metsikkökuvioinnissa. Ortokuvan perusteella voidaan myrskytuhoalueella määrittää päätehakuun ja kasvatushakuun rajaus lähes yhtä tarkasti ja huomattavasti nopeammin kuin maastotyönä (Kuvio 9). Säästyneen puuston laadun tarkistaminen vaatii kuitenkin maastokäynnin, koska ortokuvasta ei pysty erottamaan pystyyn jääneitä vaurioituneita puita.





Kuvio 9. Päätehakuukuvio 20 on rajattu drone-ortokuvan avulla (Stora Enso Metsä 2023)

Hajallaan olevien yksittäisten kaatuneiden puiden laskeminen ortokuvasta on huomattavasti nopeampaa kuin laajojen alueiden tarkistaminen maastotyönä. Näillä alueilla voidaan ortokuvan perusteella arvioida kertymää ja korjuun kannattavuutta ilman maastokäyntiä.

#### 5.5.2 Uudistamistöiden suunnittelu drone-mittauksella

Myrskytuhon jälkeen tehtävän päätehakuukuvion lopullinen rajaus tarkentuu usein vasta hakkuun yhteydessä (Kuvio 10). Uudistamisessa tarvittavien työ- ja materiaalmäärien oikeellisuuden varmistamiseksi kuvioiden pinta-ala joudutaan tarkistamaan uudestaan.





Kuvio 10. Osa metsikkökuvion 21.3 puustosta on voitu säästää päätehakkuussa (Stora Enso Metsä 2023)

Ortokuvan avulla uudistamisalan metsikkökuviointi voidaan tehdä tarkasti ja nopeammin kuin maastotyönä (Kuvio 11). Oikean uudistamistavan valitsemiseksi tarvitaan maastokäynti, jos metsäasiantuntija ei tunne alueen maaperää ennestään. Pelkän ortokuvan ja avoimen metsävaratiedon pohjalta ei uudistamistapaa voi luotettavasti määrittää.



Kuvio 11. Ortokuvan perusteella korjattu metsikkökuvion 21.3 raja (Stora Enso Metsä 2023)

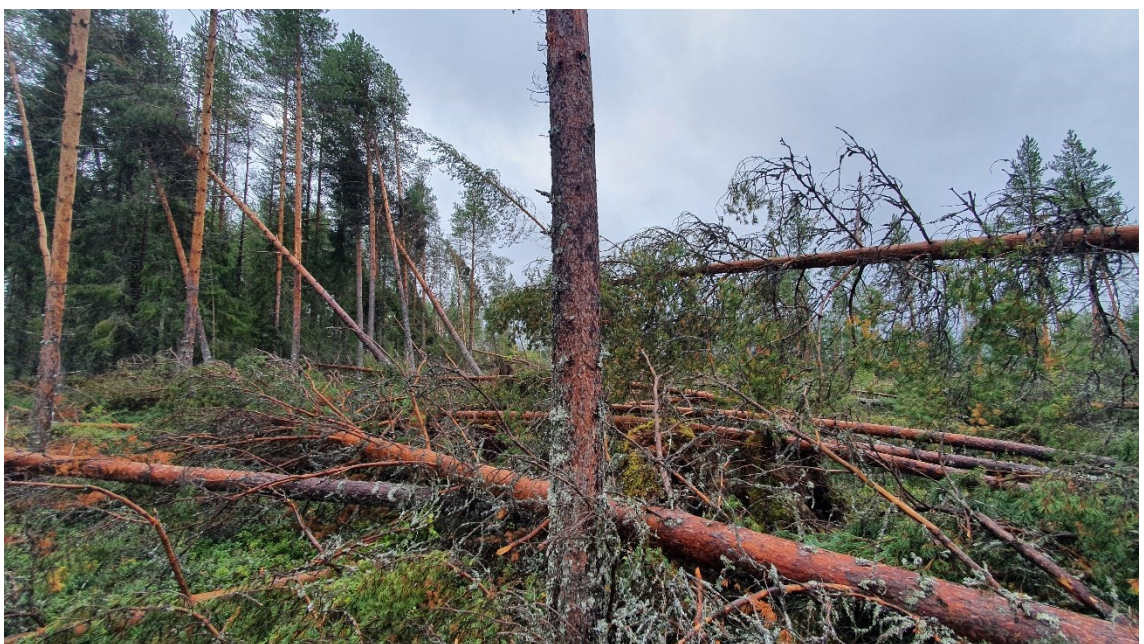


Tarkka metsikkökuviointi auttaa uudistamistöiden resurssoinnissa ja aikataulu-  
tuksessa. Oikean pinta-alan perusteella saadaan tilattua myös oikeat määrät tai-  
mia ja siemeniä.

### 5.5.3 Ajankäytön vertailu

Tutkimuksessa verrattiin maastotyönä tehdyn suunnittelun ja ortokuvan avulla  
tehdyn suunnittelun ajankäyttöä. Ilmakuvaukseen käytetty aika huomioitiin ver-  
tailussa. Tästä vertailusta ei pystytty tekemään tarkkoja johtopäätöksiä, koska  
myrskytuhokohteissa maastotyöhön käytetty aika vaihtelee niin paljon. Niissä  
kohteissa, joissa vertailua tehtiin, päästiin dronen avulla suunnittelussa noin kak-  
sinkertaiseen hehtaarimäärään työtuntia kohden. Pelkässä metsikkökuvioinnissa  
ero oli vielä suurempi. Ajan säästö on kuitenkin hyvin verrannollinen alueen ko-  
koon. Mitä laajemmasta myrskytuhoalueesta on kyse, sitä enemmän dronen käy-  
töstä saadaan hyötyä.

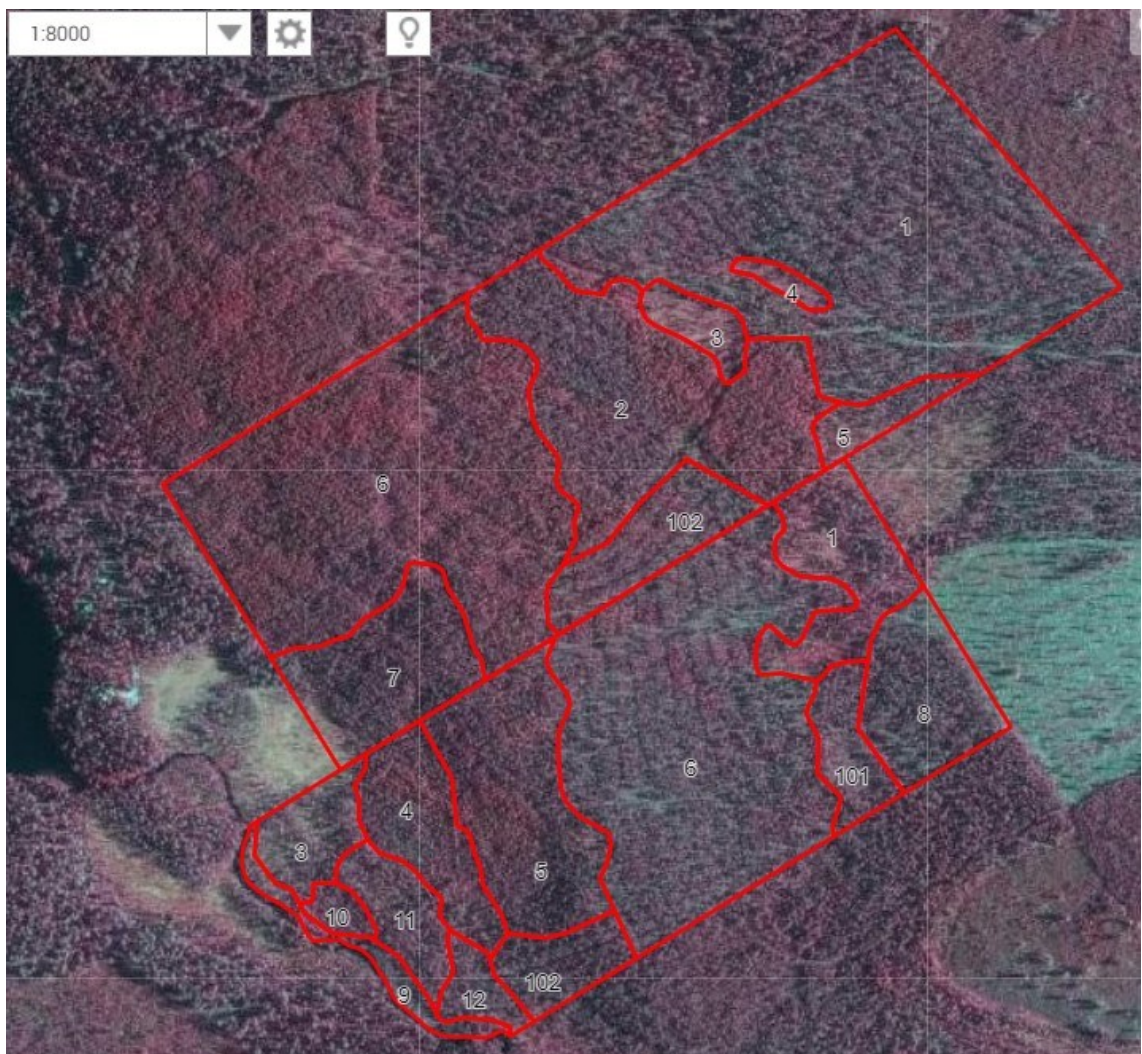
Maastotyönä tehdyn suunnittelun tehokkuus jäi pahimmilla Paula-myrskyn tuho-  
alueilla muutamaankymmeneen hehtaariin päivässä (Kuvio 12). Tutkimukseen  
osallistuneiden metsäasiantuntijoiden arvioiden mukaan dronen käytöstä olisi ol-  
lut paljon hyötyä näiden alueiden tuhojen kartoituksessa. Dronea ei päästy hyö-  
dyntämään pahimpien alueiden suunnittelussa, koska alueet oli ehditty jo korjata  
kesään 2022 mennessä.



Kuvio 12. Liikkuminen myrskytuhoalueella on hidasta (Stora Enso Metsä 2023)

Myös hajanaisten pienten myrskytuhojen tarkistaminen maastotyönä voi viedä paljon työaikaa. Useimmiten joudutaan kävelemään koko alue läpi muutaman kymmenen metrin välein, että saadaan paikallistettua tuhot ja arvioitua kaatuneen puun määrää. Dronen avulla tuhojen paikallistaminen nopeutuu huomattavasti. Tutkimuksessa drone-ilmakuvauksen tehokkuus oli noin yksi hehtaari minuutissa.

Kuvion 13 esittämällä kahden tilan alueella oli omistajan ilmoituksen mukaan myrskytuhoja (Kuvio 13). Tilojen pinta-ala on yhteensä 55 hehtaaria. Alueen tarkistamiseen maastotyönä kului aikaa neljä tuntia. Kävelymatkaa kertyi lähes 12 kilometriä.



Kuvio 13. Tilojen myrskytuhot tarkistettiin maastotyönä ja drone-ilmakuvauksella (Stora Enso Metsä 2023)



Tilojen ilmakuvaukseen kului aikaa 48 minuuttia. Ilmakuvien lataamiseen drone-alustalle meni muutama minuutti. Valmistuneesta ortokuvasta pystyi paikallistamaan myrskytuhot ja laskemaan kaatuneiden puiden määrän (Kuvio 14). Aikaa tähän kului puoli tuntia.



Kuvio 14. Ortokuvasta voi laskea kaatuneiden puiden määrän (Stora Enso Metsä 2023)

Alueesta puolet oli harvennettu edellisenä vuonna Stora Enso Metsän toimesta, joten puuston järeys ja korjuukelpoisuus olisi voitu määrittää luotettavasti ilman maastokäyntiä. Alueelle olisi pystynyt tekemään toimenpide-ehdotuksen pelkän drone-ortokuvan avulla. Työaikaa olisi kulunut alle puolet maastotyöhön verrattuna.

## 6 POHDINTA

Dronella suoritetulla ilmakuvauksella saadaan tuotettua nopeasti tarkka ja ajan- tasainen ortokuva halutusta kohteesta. Laajan myrskytuhon jälkeen ortokuvan perusteella voidaan saada parempi käsitys toimenpiteiden tarpeesta nopeammin ja turvallisemmin kuin perinteisellä maastotyöllä. Ortokuva ei yksinään riitä toimenpide-ehdotuksen tuottamiseen, vaan lisäksi tarvitaan myös luotettava metsävaratieto tai muu alueen tuntemus.

Tutkimusaineisto painottui enemmän uudistamistöiden suunnitteluun kuin leimikon suunnitteluun. Kuvattujen kohteiden määrä oli kohtalaisen pieni (38 kpl). Kuitenkin kaikissa kohteissa saatiin samansuuntaiset arviot kuvauksen hyödyistä. Myös kaikkien tutkimukseen osallistuneiden metsäasiantuntijoiden arviot toimintamallista olivat samanlaisia. Kaikkien mielestä dronella hankittujen ortokuvien käyttö oli helpottanut ja nopeuttanut omaa työtä. Kaikki metsäasiantuntijat olivat tehneet suunnittelua perinteisillä menetelmillä Paula-myrskyn jälkeen ja pystyivät vertaamaan sitä dronen käyttöön.

Tutkimuksessa saatiin lisää tietoa dronen käyttömahdollisuuksista. Stora Enson kehitystyö dronen hyödyntämisessä jatkuu. Droneja on hankittu metsäasiantuntijoiden käyttöön. Drone-harjoittelijoiden määrää on lisätty. Uusia käyttökohteita ja -tapoja etsitään aktiivisesti.

Tässä tutkimuksessa käytetty toimintamalli, jossa metsäasiantuntijat eivät itse suorita kuvausta, säästää todennäköisesti eniten metsäasiantuntijan työaikaa. Kuitenkin joissakin tapauksissa olisi hyötyä, jos metsäasiantuntija suorittaisi ilmakuvausta itse ja voisi samalla kertaa tehdä dronella valo- tai videokuvausta tarkennusta vaativista kohteista.

Tutkimuksen tekeminen tuki omaa työtäni metsäasiantuntijana. Perinteisen suunnittelun ja dronen hyödyntämisen vertailussa sain hyvän käsityksen mihin dronea kannattaa nykyisin käyttää. Dronen käytön myötä sain uusia tapoja esimerkiksi etämetsänomistajien palvelemiseen, mikä voisi olla jatkokehityksen arvoinen asia.

## LÄHTEET

Gregow, H., Rantanen, M., Laurila, T. K. & Mäkelä, A. 2020. Review on winds, extratropical cyclones and their impacts in Northern Europe and Finland. Viitattu 5.2.2023 <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/320298/report-review-of-winds-2020-final.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

Ilmailulaki 7.11.2014/864.

Ilmatieteen laitos 2023a. Voimakkaat matalapaineet. Viitattu 5.2.2023 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/voimakkaat-matalapaineet>.

Ilmatieteen laitos 2023b. Merkittäviä myrskyjä ja rajuilmoja Suomessa. Viitattu 5.2.2023 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/merkittavia-myrskyja-suomessa>.

Ilmatieteen laitos 2023c. Rajuilmat. Viitattu 5.2.2023 <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rajuilmat>.

Kainulainen, O. 2022. Stora Enso Metsä. Metsäasiantuntija. Haastattelu 22.9.2022.

Kangas, A. & Packalen, T. 2018. Metsävaratieto metsäalan toimijoiden päätöksenteossa – käyttötilanteet ja hyötyyn vaikuttavat tekijät. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2018 artikkeli 10031. Viitattu 28.2.2023 <https://doi.org/10.14214/ma.10031>.

Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 24.5.2019/947. Säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä.

Laine, T., Luoranen, J. & Ilvesniemi, H. 2019. Metsämaan muokkaus. Viitattu 6.5.2023 [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544645/luke-luobio\\_58\\_2019.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544645/luke-luobio_58_2019.pdf?sequence=5&isAllowed=y).

Laki metsätuhojen torjunnasta 20.12.2013/1087.

Metsäkeskus 2021a. Puunkorjuun poikkeuslupaa ei tarvita Paula-myrskyn pahimmilla tuhoalueilla. Viitattu 7.2.2023 <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/puunkorjuun-poikkeuslupaa-ei-tarvita-paula-myrskyn-pahimmilla-tuhoalueilla>.

Metsäkeskus 2021b. Paula-myrskyn pahimmilla tuhoalueilla jatketaan vapautusta puunkorjuun poikkeusluvasta. Viitattu 7.2.2023 <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/paula-myrskyn-pahimmilla-tuhoalueilla-jatketaan-vapautusta-puunkorjuun-poikkeusluvasta>.

Metsäkeskus 2022a. Paula-myrskyn tuhot olivat historiallisen suuret Koillismaan metsissä. Viitattu 7.2.2023 <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/paula-myrskyn-tuhot-olivat-historiallisen-suuret-koillismaan-metsissa>.

Metsäkeskus 2022b. Paula-myrskyn aiheuttamat metsävahingot vuonna 2021. Viitattu 5.2.2023 <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tiedote-liite-Paula-myrskyn-aiheuttamat-metsavahingot.pdf>.

- Metsäkeskus 2022c. Metsävaratiedon laatuseloste. Viitattu 28.2.2023 <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/metsavaratiedon-laatuseloste.pdf>.
- Metsäkeskus 2023. Metsätuhot. Viitattu 7.2.2023 <https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/dashboards/1ac031022db14461b4ec7256423f3c70>.
- Metsälaki 12.12.1996/1093.
- Parrot 2023. Anafi Ai The 4G robotic UAV. Viitattu 29.3.2023 <https://www.parrot.com/assets/s3fs-public/2022-01/whitepaperanafiai.pdf>.
- Pesälä, V. 2022. Stora Enso Metsä. Metsäasiantuntija. Haastattelu 22.9.2022.
- Stora Enso Metsä 2023. Organisaation sisäinen lähde.
- Teittinen, H. 2017. Georeferoidun pistepilven tuottaminen miehittämättömällä lentoaluksella kerätystä kuva-aineistosta. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö. Viitattu 21.3.2023 [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/25161/master\\_Teittinen\\_Hannu\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/25161/master_Teittinen_Hannu_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Traficom 2023a. Drone ja sen toiminnot – miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien yleistuntemus. Viitattu 15.3.2023 <https://droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Mik%C3%A4%20on%20drone%3F&toggle=Drone-j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20toiminnot%2C%20jotka%20tulee%20hallita>.
- Traficom 2023b. Luvasta vapaa toiminta Avoin-kategoriassa. Viitattu 17.3.2023 <https://droneinfo.fi/fi/luvasta-vapaa-toiminta-avoin-kategoriassa>.
- Traficom 2023c. Missä ei saa lennättää. Viitattu 17.3.2023 <https://droneinfo.fi/fi/missa-ei-saa-lennattaa>.
- Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 30.12.2013/1308.
- Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., Ruosteenoja, K., Tikkanen, O., Viiri, H., Ikonen, V. & Peltola, H. 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. Viitattu 5.2.2023 <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>.
- Viiri, H., Viitanen, J., Mutanen, A. & Leppänen, J. 2019. Metsätuhot vaikuttavat Euroopan puumarkkinoihin – Suomessa vaikutukset toistaiseksi vähäisiä. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2019 artikkeli 10200. Viitattu 5.2.2023 <https://doi.org/10.14214/ma.10200>.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. Viitattu 5.2.2023 [https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon\\_suosituksset\\_Tapio\\_2019.pdf](https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf).