



Karelia-ammattikorkeakoulu
Metsätalousinsinööri (AMK)

Myrskytuhojen kartoittaminen dronilla

Juho Ulvinen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Metsätalouden koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Juho Ulvinen

Nimeke
Myrskytuhojen kartoittaminen droonilla

Toimeksiantaja
Metsäliitto Osuuskunta

Opinnäytetyössä tutkittiin droonilla tehdyn ilmakuvauksen käytännöllisyyttä myrskytuhojen kartoittamisessa. Tarkastelun kohteena olivat mittauksien tarkkuus, ajankäyttö, käytännöllisyys, leimikon suunnittelun mahdollisuudet sekä työturvallisuuteen liittyvät asiat. Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi Metsäliitto Osuuskunta.

Droonilla tehdyt kuvaukset toteutettiin syksyllä Vöyrin kunnan alueella. Kuvauksia tehtiin yhteensä kolmelta eri myrskytuhoalueelta. Kuvaukset toteutettiin Ekodrone Oy:n toimesta Phantom 4 pro- mallisella droonilla. Kuvauksista saadut ilmakuvat syötettiin PIX4Dcloud nimiseen ohjelmistoon, joka muodosti kuvista ortokuvan.

PIX4Dcloudin avulla ortokuvista oli mahdollista tehdä laskelmia sekä mittauksia, joissa selvitettiin kaatuneiden puiden määriä puulajeittain sekä määritettiin niille tilavuudet läpimitan sekä pituuksien mittaamisen avulla. Kolmesta myrskytuhokohteesta kahdelle toteutettiin kuvauksen jälkeen hakkuut. Näiltä kuviolta saatiin vertausaineistoksi motolistat hakkuuiden jälkeen, joten kuvista tehtyjä mittauksia ja laskentoja voitiin verrata.

Tuloksista selvisi ortokuvista tehtyjen mittausten olevan melko epätarkkoja tilavuuksia laskettaessa. Lopputuloksena kuitenkin droonilla tehtyjen kuvausten voidaan todeta tuovan hyötyä pelkkiä kaatuneita runkoja laskettaessa. Kaatuneiden runkojen lukumäärää ja metsävaratieta avuksi käyttäen, saadaan tarpeellinen tieto esimerkiksi siitä, onko kuviolta taloudellisesti kannattavaa kerätä koneellisesti pelkästään kaatuneet rungot.

Kieli
suomi

Sivuja 44
Liitteet 2
Liitesivumäärä 8

Asiasanat
Droonit, myrskytuhot, ajankäyttö



THESIS
May 2022
Degree Programme in Forestry

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Juho Ulvinen

Title
Mapping of Storm Damages in Forest with Drone

Commissioned by
Metsäliitto Osuuskunta

The purpose of this study was to research the practicality of using drones when mapping storm damages in forests. The issues examined in the study were the accuracy of the measurements, time use, practicality and issues related to occupational safety. This study was commissioned by Metsäliitto Osuuskunta.

Aerial photography with the drone was done in the fall of 2021 in the municipality of Vöyri. Aerial photographs were taken from three different storm damage areas. Flights were performed by Ekodrone Oy with Phantom 4 pro model drone. The aerial photos obtained from these flights were turned into orthophotos using software PIX4DCloud.

By using different tools in PIX4DCloud the amount of fallen trees was counted. It was also possible to measure height and diameter breast heights of the fallen trees from the orthophotos. From the measurements the average volume of the fallen trees was determined. Two of these three storm damaged forest areas were harvested after the aerial photographs were taken by drone. From the forest compartments, which were harvested, the harvester was able to produce a list from its logging data. The list was used to compare the real amount of fallen trees, and the average volume to measurements taken from the orthophotos.

The study proved that the measurements of the average volume from the orthophotos were quite inaccurate. However, in conclusion it can be said that aerial photography with drones can provide useful data when counting the amount of fallen trees in the storm damaged forest. The amount of fallen trees and information provided by forest resource data is accurate enough to decide if there is enough volume to use mechanized harvesting that collects only the fallen trees.

Language
Finnish

Pages 44
Appendices 2
Pages of Appendices 8

Keywords
Drones, storm damages, time use

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Myrskytuhot	5
2.1	Metsänkasvatukseen liittyvät myrskytuhot	5
2.2	Metsätuholaki myrskytuhoista	10
2.3	Myrskytuhojen kartoittamismenetelmät	11
3	Droonien käyttö metsätaloudessa	13
3.1	Droonit	13
3.2	Droonien historia	13
3.3	EU:n droonisäännöt	14
3.4	Käyttömahdollisuudet metsätaloudessa	15
3.5	Fotogrammetria	16
4	Opinnäytetyön tavoite ja tehtävä	17
5	Tutkimuksen toteuttaminen	18
5.1	Aineiston keruu	18
5.2	Tulosten analysointi	20
6	Tulokset	22
6.1	Kuvio 1	22
6.2	Kuvio 2	28
6.3	Kuvio 3	33
7	Pohdinta	36
7.1	Tulosten tarkastelu	36
7.2	Tutkimuksen luotettavuus	41
7.3	Jatkokehitystarpeet	42
	Lähteet	44

Liitteet

- Liite 1 Mittauksien Excel-taulukot
- Liite 2 Mittauksia vaikeuttavat tekijät kuvissa

1 Johdanto

2000-luvulla myrskyt ovat kaataneet Suomen metsissä puuta yhteensä yli 25 miljoonaa kiintokuutiota (Metsäteho 2015, 2). Myrskytuhojen määrän on ennustettu lisääntyvän tulevaisuudessa. Tähän vaikuttavat talvien muuttuminen lauhemmiksi ja sateisimmiksi, mikä vaikuttaa maan jäätymiseen sekä juuriston sitomiseen. Ilmastonmuutoksen on myös arvioitu lisäävän voimakkaita myrskytuulia. Jatkuva puuston tilavuuden kasvaminen vaikuttaa myös entistä laajempiin myrskytuhoihin kuutiometreissä mitattuna.

Teknologian kehittyessä myös metsäalalla otetaan käyttöön uusia työtekniikoita. Drooneilla tapahtuva ilmakehuvaus on tästä hyvä esimerkki, joka on mahdollistanut ajankäytöllisesti tehokkaampia työtapoja. Droonikuvausta on käytetty jo esimerkiksi apuna metsäsuunnittelussa, taimikoiden inventoinnissa sekä tehtaiden puupinojen mittauksessa. Droonien suurin hyöty metsätaloudelle on niiden tehokkuus, sillä drooni pystyy yhdellä lennolla kuvaamaan jopa 100 ha metsää.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää droonikuvauksen käytännöllisyyttä ja tehokkuutta myrskytuhojen kartoittamisessa metsässä. Tutkimuksessa otettiin huomioon mittauksien tarkkuudet myrskytuhojen määrästä, ajankäytön tehokkuus verrattuna maastotyöskentelyyn, käytännöllisyys, mahdollisuudet leimikon suunnitteluun sekä työturvallisuuteen liittyvät asiat. Opinnäytetyössä selvitettiin mahdollisuutta korvata maastotyöskentelynä tapahtuvaa myrskytuhojen kartoitusta metsässä droonilla tapahtuvaan kartoitukseen ja pohtimalla sen tuottamia hyötyjä.

2 Myrskytuhot

2.1 Metsänkasvatukseen liittyvät myrskytuhot

Pohjois- ja Keski-Euroopassa suurimpiin metsätuhojen aiheuttajiin kuuluvat lumituhot, myrskyt, kaarnakuoriaiset sekä sienitaudit. Etelä-Euroopassa suuria

tuhoja voivat aiheuttaa myös metsäpalot. Käynnissä olevan ilmastonmuutoksen on ennakoitu lisäävän metsätuhojen määrää, sillä voimakkaat myrskytuulet sekä kuivien kausien todennäköisemmät esiintymiset kasvavat. Talvet muuttuvat lauhemmiksi ja sateisimmiksi, mikä vaikuttaa huomattavasti maan jäätymiseen sekä puiden juuriston sitomiseen. Tämän vuoksi puustoa kaatuu talvimyrskyissä entistä herkemmin. Lisäksi myös Euroopan metsissä puuston tilavuus on jatkuvasti kasvanut 1960-luvulta alkaen, mikä aiheuttaa kuutiometreissä mitattuna entistä laajempia tuuli- ja myrskytuhoja. Metsäalan toimijat ovat alkaneet reagoida ilmastonmuutokseen ja sen vaikutukseen toistuvien myrsky- ja hyönteistuhojen myötä. Tämän vuoksi suunnitteilla on myös kansallisen kriisityöryhmän perustaminen, joka alkaisi ratkomaan lyhyellä ja pitkällä aikavälillä ilmastonmuutoksen aiheuttamia ongelmia. Suomessa on täysin mahdollista ja jopa todennäköistä, että ylitse kulkevat myrskyrintaman tulevat kaatamaan puustoa todella suuria määriä. Julkisuudessa on arvioitu jopa 20–30 milj. m³ myrskytuhomääristä tulevaisuudessa. Mallinnustutkimusten mukaan, jotka perustuvat ilmastonmuutosskenaarioihin, suurten myrskytuhojen todennäköisyyteen vaikuttavat Suomessa sään ääri-ilmiöiden lisääntymisen lisäksi myös puuston tilavuuden kasvu sekä metsien muuttuminen yhä enemmän kuusivaltaisemmaksi. (Viiri, Viitanen, Mutanen & Leppänen 2019.)

Pahimpia 2000-luvulla tapahtuneita myrskyjä ovat vuoden 2001 Pory- ja Janikamyrskyt, jotka aiheuttivat metsissä tuulituhoja puumäärällisesti noin 7,3 milj. m³ edestä. Vuonna 2010 Asta-, Lahja- ja Veera-myrskyjen sarja aiheuttivat tuulituhoja metsissä puumäärällisesti noin 8,1 milj. m³ edestä. (Metsäkeskus 2021a.) Nämä kaksi myrskyä ovat olleet viimeisen 20 vuoden aikana ainoat, jotka ovat ylittäneet vuosittaisen markkinahakkuiden määrästä noin 15 % suuruusluokkaan (Viiri ym. 2019).

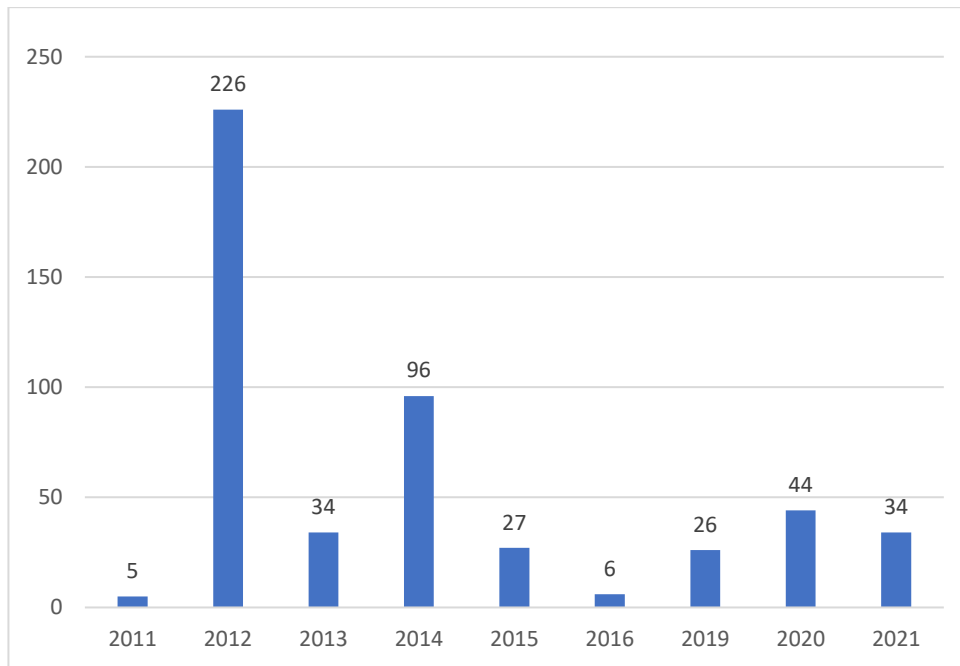
Eino-myrsky kaatoi marraskuussa 2013 koko Suomen alueelta metsää yhteensä noin 1,5 milj. m³. Myrskyssä tuhoutuneen puuston arvo oli yhteensä noin 60 miljoonaa euroa. Eniten tuulituhoja tapahtui Keski-Suomen sekä Etelä-Savon alueella. Myrskyssä ei syntynyt suuria isoja yhtenäisiä tuhoalueita, joten maa- ja metsätalousministeriö ei käyttänyt ilmakehuvausta kartoittamiseen. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2013.)

Viimeisin merkittäviä myrskytuhoja metsissä aiheuttanut Paula-rajuilma tapahtui viime kesänä 22.6.2021. Vahingoittunutta puustoa kertyi yhteensä noin milj. m³ verran, ja rahallisesti vahingoittuneen puuston arvo oli noin 40 miljoonaa euroa. Rajuilma osui maantieteellisesti Koillismaalle sekä Kainuuseen. Pahimmillaan ukkosmyrskyn syöksyvirtauksen kaatoivat laajuudeltaan jopa 30 ha:n kokonaisia alueita. (Metsäkeskus 2021b.)

Tiedonluovutuspyynnön avulla Metsäkeskukselta saatiin myrskytuhoihin liittyen tilastoja Etelä-Pohjanmaan sekä Pohjanmaan alueelta, joita tutkimuksessa käsitellään. Tiedonluovutuspyynnössä kysyttiin metsänkäyttöilmoitusten lukumäärää myrskytuhoalueilla viimeisen 10 vuoden ajalta kasvatus- sekä uudistamishakkuiden osalta näissä maakunnissa. Kaaviot eivät kuitenkaan ole täysin luotettavia myrskytuhojen määrän kehityksen kuvaamisessa, sillä myrskytuhopuuta saatetaan kerätä myös kuviolta, jotka ilmoitetaan metsänkäyttöilmoituksessa normaalina kasvatus- tai uudistushakkuuna.

Alla olevasta kuviosta selviää myrskytuhoalueiden kasvatushakkuiden määrän kehitys vuosien 2011–2021 aikana Etelä-Pohjanmaan maakunnassa (kuvio 1). Suurimmat piikit kyseisessä tilastossa viimeisen kymmenen vuoden ajalta Etelä-Pohjanmaan maakunnassa on aiheuttanut Tapaninpäivänä riehunut Tapani-myrsky vuonna 2011. Lisäksi joulukuun 26.–28. päivien myrskyissä aiheutui vahinkoja metsissä ympäri Suomen noin 3,5 milj. m³, joka oli arvoltaan noin 120 miljoonaa euroa. Pahimmat vauriot aiheutti Tapani-myrsky, joka riehui pääsääntöisesti Länsi-Suomessa. Etelä-Pohjanmaan alueella kaatui arvioiden mukaan 0,2–0,3 milj. m³ puuta. Tuhot osuivat pahiten Isojoen, Karijoen sekä Teuvan suunnalle. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011.) Tämä myrsky johti vuonna 2012 korkeisiin lukumääriin metsänkäyttöilmoitusten osalta.

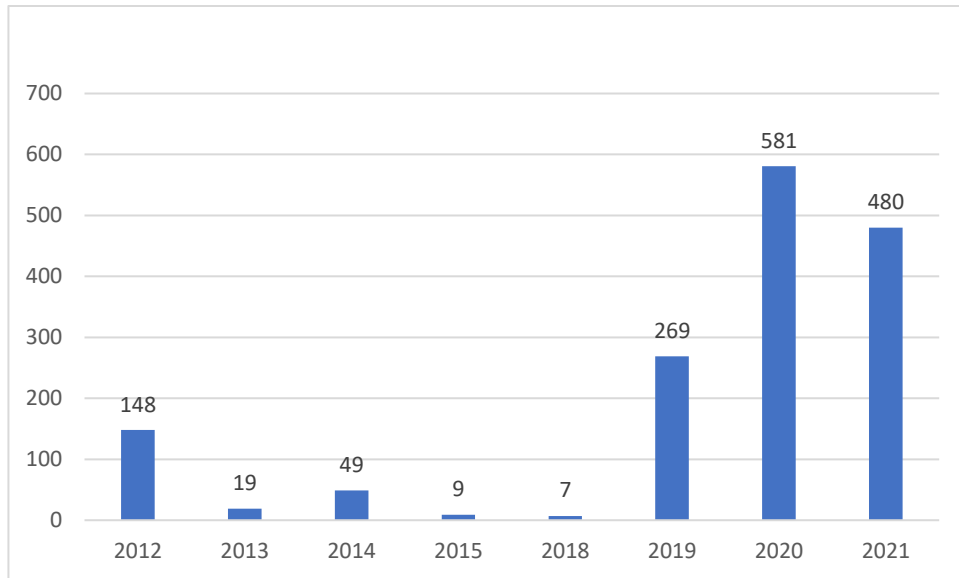
17.11.2013 Riehunut Eino-myrsky osui myös osittain Etelä-Pohjanmaalle. Pohjalaismetsissä puustoa kaatui vähemmän kuin etukäteen odotettiin. Myrsky osui raivoisammin Keski-Pohjanmaalle, mutta metsää kaatui myös Etelä-Pohjanmaalla esimerkiksi Soinissa ensiarvion mukaan noin 5000 m³. Pahimpien alueiden mukana olivat myös Lapua sekä Alajärvi. Näiden kahden pohjalaismaakunnan alueella kaatuneen puuston määrän arviot olivat noin 75 000 kiintokuutiota. (Myrskyvaroitus 2019.) Kyseinen myrsky on vaikuttanut vuoden 2014 lukuihin Etelä-Pohjanmaalla.



Kuvio 1. Metsäkäyttöilmoitukset myrskytuhoalueiden kasvatushakuista Etelä-Pohjanmaalla (Metsäkeskus 2022).

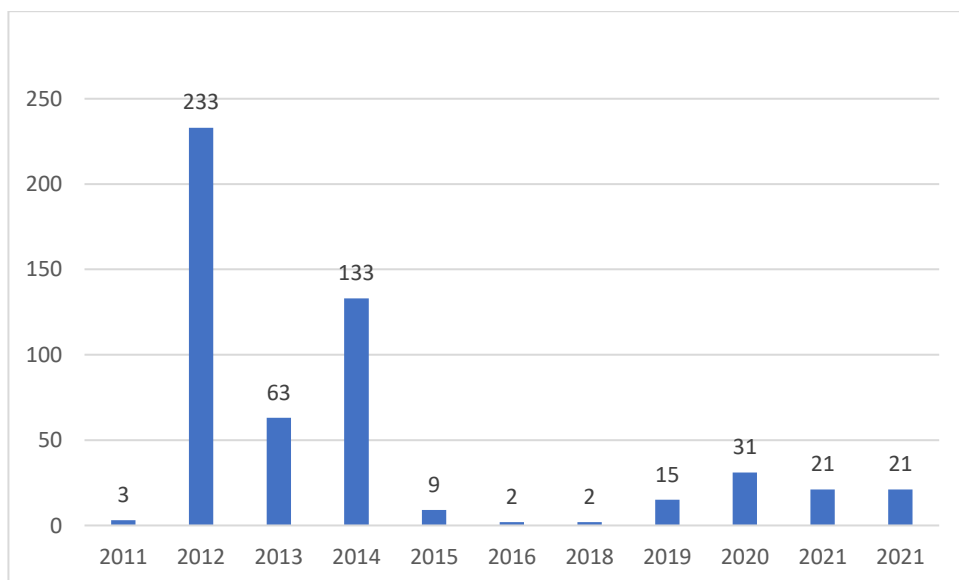
Alla olevasta kuviosta selviää myrskytuhoalueiden kasvatushakkuiden määrän kehitys vuosien 2011–2021 aikana Pohjanmaan maakunnassa (kuvio 2). Suuremmat lukemat Pohjanmaalla metsäkäyttöilmoituksista verrattuna Etelä-Pohjanmaan lukuihin selittää Pohjanmaan maantieteellinen sijainti rannikolla. Suurimmat piikit kyseisessä tilastossa viimeisen kymmenen vuoden ajalta Pohjanmaan alueella ovat aiheuttaneet vuonna 2020 riehunut Aila-myrsky, joka iski pahiten Vaasaan, Kokkolaan sekä myös rannikkoalueille Satakuntaan. Näille alueille puuston vahinkojen arvoksi arvioitiin 10–15 milj. euroa ja koko Suomessa noin 15–20 milj. euroa. Metsäkeskuksen tietojen perusteella kuutiometreissä vauriot olivat yhteensä noin 0,4–0,7 milj. m³, josta noin kaksi kolmasosaa kaatui Satakunnassa, Pohjanmaalla ja kapealla Pohjanlahden rannikkoalueella. (Metsäkeskus 2020.)

Aapeli-myrsky kaatoi riehuessaan v. 2019 Pohjanmaan maakunnassa arvioiden mukaan 30 000–50 000 m³ puuta. Tuhot olivat arvioltaan noin 1–1,5 milj. euron arvoiset. Pohjanmaalla myrskyjen vaurioista kärsivät yhteensä 3 000 metsänomistajaa. (Kaihlanen 2019.)



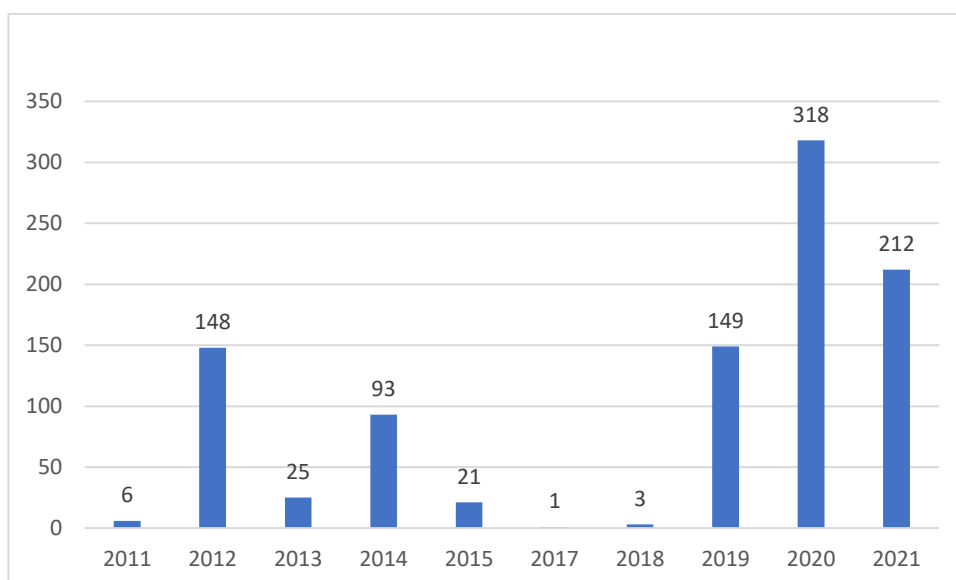
Kuvio 2. Metsänkätöilmoitukset myrskytuhoalueiden kasvatushakuista Pohjanmaalla (Metsäkeskus 2022).

Alla olevasta kuviosta selviää myrskytuhoalueiden uudistamishakkuiden määrän kehitys vuosien 2011–2021 aikana Etelä-Pohjanmaan maakunnassa (kuvio 3). Kyseisestä kuviosta voitiin havaita, että Etelä-Pohjanmaalla suurimmat piikit tilastoissa metsänkätöilmoituksiin myrskytuhoalueiden uudistamishakuista ovat osuneet samoihin vuosiin kuin vastaavasta tilastosta kasvatushakkuiden osalta. Viimeisen kymmenen vuoden aikana tilastoihin ovat vaikuttaneet edellä mainitut Tapani-myrsky, joka osui vuoteen 2011, ja Eino-Myrsky, joka osui puolestaan vuoteen 2013.



Kuvio 3. Metsänkätöilmoitukset myrskytuhoalueiden uudistamishakuista Etelä-Pohjanmaalla (Metsäkeskus 2022).

Alla olevasta kuviosta selviää myrskytuhoalueiden uudistamishakkuiden määrän kehitys vuosien 2011–2021 aikana Pohjanmaan maakunnassa (kuvio 4). Myös tästä kyseisestä kuviosta voitiin havaita, että Pohjanmaalla suurimmat piikit tilastoissa metsänkäyttöilmoituksiin myrskytuhoalueiden uudistamishakkuista ovat osuneet samoihin vuosiin kuin vastaavasta tilastosta kasvatushakkuiden osalta. Viimeisen kymmenen vuoden aikana tilastoihin ovat vaikuttaneet edellä mainitut Aila-myrsky, joka osui vuoteen 2020 sekä Aapeli-myrsky, joka osui vuorostaan vuoteen 2019.



Kuvio 4. Metsänkäyttöilmoitukset myrskytuhoalueiden uudistamishakkuista Pohjanmaalla (Metsäkeskus 2022).

2.2 Metsätuholaki myrskytuhoista

Suomessa metsälaki velvoittaa metsänomistajia korjaamaan metsästään tuulituhojen sattuessa vahingoittuneet puut pois metsästä. Lain avulla pyritään ehkäisemään jatkotuhoja kirjanpainajien sekä muiden kaarnakuoriaisten muodossa. Esimerkiksi myrskyn runtelema kuusimetsä tarjoaa kirjanpainajalle runsaasti lisääntymismateriaalia.

Jos taimikkovaiheen ohittaneessa metsikössä on hehtaaria kohden enemmän kuin 10 kiintokuutiometriä vahingoittuneita kuusipuita, joiden tyviläpimitta on yli 10 senttimetriä, puiden omistaja on velvollinen poistamaan metsiköstä ja välivarastosta 10 kiintokuutiometriä ylittävän osan vahingoittuneista puista viimeistään 3. §:n 2 momentin 1 ja 3 kohdassa säädettyihin määräaikoihin mennessä. Jos

taimikkovaiheen ohittaneessa metsikössä on hehtaaria kohden enemmän kuin 20 kiintokuutiometriä vahingoittuneita kaarnoittuneita mäntypuita, joiden tyviläpimitta on yli 10 senttimetriä, puiden omistaja on velvollinen poistamaan metsiköstä ja välivarastosta 20 kiintokuutiometriä ylittävän osan vahingoittuneista puista viimeistään 3. §:n 2 momentin 2 kohdassa säädettyyn määräaikaan mennessä. (Metsälaki 1087/2013, 6 §.)

Maa jaetaan A-, B- ja C-alueeseen lämpösumman sekä metsätuhojen aiheuttavien hyönteisten esiintymisen perusteella. Puutavaran omistajan tulee huolehtia edellisen vuoden syyskuun 1. päivän ja kuluvan vuoden 31. päivän välisenä aikana kaadetun kuusipuutavaran kuljetuksesta pois hakkuupaikalta tai välivarastolta. Aikarajat alueittain ovat A-alueella viimeistään 15. päivänä heinäkuuta, B-alueella 24. päivänä heinäkuuta sekä C-alueella 15. päivänä elokuuta. Kaadetun kaarnoittuneen mäntypuutavaran, joka on kaadettu edellisen vuoden syyskuun 1. päivän ja kuluvan vuoden toukokuun 31. päivän välisenä aikana, määrätään kuljetettavan pois hakkuupaikalta sekä välivarastolta A- ja B-alueella viimeistään 1 päivänä heinäkuuta ja C-alueella viimeistään 15. päivänä heinäkuuta. Kuusipuutavara, joka on kaadettu kuluvan vuoden 1. päivän ja elokuun 31. päivän välisenä aikana, määrätään kuljetettavan pois hakkuupaikalta tai välivarastolta A-alueella 30 päivän kuluessa hakkuusta. (Metsälaki 1168/2021, 3 §.)

2.3 Myrskytuhojen kartoittamismenetelmät

Myrskytuhojen kartoittaminen on tärkeää, jotta tapahtuneen myrskyn jälkeen saadaan käsitys siitä, miten suurella alueella myrskyt ovat metsissä tehneet tuhoa. Myrskytuhojen laajuuden lisäksi voidaan myös arvioida tuhojen laatua. Esimerkiksi katkenneista sekä taipuneista puista ei ole mahdollista enää hyödyntää tukkipuuta, jolloin vahingoittunut puu myydään kokonaan kuitupuuna.

Myrskytuhojen kartoittaminen tehdään pääsääntöisesti miestyönä maastossa metsäasiantuntijan toimesta. Kuitenkin apuna on käytetty myös ilmakehuusta, kuten 2010 vuoden Asta-myrskyn sekä 2011 vuoden Tapani-myrskyn tapauksissa (Kaihlainen 2020). Opinnäytetyössä vuodelta 2015, tutkittiin lentokartoitusta pienlentokoneen avulla Kainuussa. Lentokartoituksessa tarkka suunnittelu

on tärkeää esimerkiksi lentoreittien osalta, sillä pienlentokoneella kartoittaminen on kallista. Tutkimuksessa tätä menetelmää on käytetty myrskytuhojen laajuuksien selvittämiseen maakuntatasolla. (Korhonen 2015.)

Helikoptereita on myös käytetty joissain tilanteissa apuna myrskytuhojen kartoittamisessa, esimerkiksi sähköyhtiöiden toimesta. Helikoptereilla on kartoitettu laajojen myrskytuhojen sattuessa sähköverkon vaurioita kaatuneiden puiden osalta, kuten Elenia ilmoitti v. 2020 tapahtuneen Liisa-myrskyn jälkeen. Kartoitusta tehtiin kolmen helikopterin avulla Keski-Suomessa ja Pirkanmaalla (Elenia 2020). Myös Metsähallitus on käyttänyt helikopteria laajojen myrskytuhoalueiden inventoinnissa, kuten kesäkuussa 2021 tapahtuneen Paula-myrskyn jälkeen. Helikopterilla tehtiin myrskytuhojen lentokartoitusta Utajärven alueella. (Sipola 2021.)

Maastotyönä tapahtuvan myrskytuhojen kartoituksen ongelmakohtia ovat sen hitauden lisäksi myös mahdolliset esteet kartoitukselle. Esimerkiksi viime kesäkuussa Koillismaalla ja Kainuussa tapahtuneen Paula-rajuilman myötä metsänteille oli kaatunut runsaasti puita. Tämä vaikeutti ja hidasti metsätuhojen kartoitusta entiseltään. Maastotyöskentelyssä myös työturvallisuusriskit kasvavat. Myrskytuhojen aiheuttamat vaaralliset konkelot voivat olla kohtalokkaita, samoin myös sähkölinjoille kaatuneet puut. Tulevaisuudessa myrskytuhojen kartoittaminen voitaisiin tehdä dronikuvauksen avulla lähes kokonaan toimistotyönä. Tämä mahdollistaisi tehokkaamman ajankäytön sekä työturvallisuuden parantamisen.

Myrskytuhojen kartoittamista tarvitaan myös vakuutusyhtiötä varten vahinkojen korvaamiseen. Käytännöt vaihtelevat vakuutusyhtiöiden välillä, mutta pääsääntöisesti vahingon laajuuden arvioinnissa käytetään metsäammattilaista. Laajimmissa tuhoissa tarvitaan mittalistaa vahinkopuuston määrästä, mutta esimerkiksi yhdelle vakuutusyhtiölle riittää asiakkaan arvio alle 100 m³:n laajuudesta puustovahingosta. (Kokkonen 2018.)

3 Droonien käyttö metsätaloudessa

3.1 Droonit

Drooneja on saatavilla montaa erilaista mallia. Kuluttajille myytäviä malleja ovat yleensä X-kirjaimen malliset droonit tai kilpailuissa käytettävät H-kirjaimen malliset droonit. Nämä voidaan jakaa toisella tavalla myös kiinteäsiipisiin tai pyöriväsiipisiin drooneihin. Droonimallit voidaan kuitenkin myös jakaa malleihin niiden muodon mukaan, jolloin droonimalleja löytyy yhteensä neljä kappaletta. Nämä neljä erilaista mallia ovat multiroottoriset droonit (Multi Rotor Drones), kiinteäsiipiset droonit (Fixed Wing Drones), yksiroottoriset helikopterit (Single Rotor Helicopter) ja kiinteäsiipiset hybridimallit (Fixed Wing Hybrid VTOL). Jokaisella mallilla on hieman erilaiset käyttötarkoitukset, joten onkin tärkeää selvittää, minkälainen drooni kannattaa hankkia omiin käyttötarkoituksiin. (Edrl 2021.)

3.2 Droonien historia

Alun perin miehittämättömät ilma-alukset rakennettiin armeijan käyttöön sotavälineeksi. Armeijan käyttämät droonit tunnetaan paremmin nimellä UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Droonien kehittyminen on kuitenkin avannut mahdollisuudet myös kuluttajien käyttöön erilaisiin tarkoituksiin. Ensimmäinen miehittämätön lennokka kehitettiin sotilaskäyttöön vuonna 1916 englantilaisen Archibald Lowin toimesta. Tästä eteenpäin miehittämättömiä ilma-aluksia kehitettiin yhä enemmän sotilastarkoituksessa. 1900-luvun lopulla miehittämättömiä ilma-aluksia alettiin kehittää myös sotilaallisiin tiedustelutarkoituksiin Yhdysvalloissa. (Kashyap 2019.)

2000-luvulla droonit yleistyivät myös muihin käyttötarkoituksiin. Mahdollisuus kiinnittää kameroita drooneihin avasi uudenlaisen tavan kuvaamiseen ilmasta. Luonnollisesti ilmakehu on droonien suurin käyttökohde. Tätä mahdollisuutta onkin hyödynnetty laajalti esimerkiksi tv- sekä elokuva-alalla. Droonikuvaus on mahdollistanut uusia kuvakulmia, jotka ovat ennen olleet vaikeita ja kalliita toteuttaa. Droonit ovat mahdollistaneet myös journalismin osalta mahdollisuuksia

kuvata paikkoja, joihin toimittajat eivät mahdollisesti ole itse päässeet. (Brown 2021.)

3.3 EU:n droonisäännöt

31.12.2020 voimaan astunut yhtenäistävä asetus dronien lennättämisestä koko EU:n alueella velvoittaa niin harrastajien, kuin ammattilaistenkin rekisteröitymisen, perehtymisen lennätyskäyttöön sekä kokeen suorittamiseen. Uudistus muutti myös joitain lennätyskäytäntöjä, mutta perusasiat turvalliseen lennättämiseen pysyivät ennallaan. Avoin-kategoriassa dronin lennättäminen tapahtuu aina näköyhteydessä, alle 120 metrin korkeudella, alle 25 kg:n painoisella droonilla. Pääsääntöisesti käyttäjän on rekisteröidyttävä sekä kauko-ohjaajan tulee suorittaa pääsääntöisesti vähintään verkkotentti. Alakategoriassa A1 sallitaan kevyempien laitteiden lennätys ihmisten yläpuolella. A2 kategoriassa sallitaan taas hieman painavampien dronien käyttö, mutta toiminnan tulee tapahtua sivussa ihmisistä. A3 kategoriassa toiminnan tulee tapahtua kaukana ihmisistä sekä asutuksesta, joka mahdollistaa toiminnan myös painavilla droneilla. Alla olevassa taulukossa tarkemmat vaatimukset droneille (kuva 1). (Droneinfo 2021.)

Kategoria	Avoin A1	Avoin A2	Avoin A3
CE-merkinnät	C0 ja C1	C2	C2, C3 ja C4
Maksimipaino	900 grammaa	4 kg	25 kg
Rajoitukset	Lentäminen sallittu yksittäisten ihmisten yli, mutta ei ihmisjoukkojen päällä UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lentäminen sallittu turvallisella etäisyydellä ihmisistä UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida	Lentäminen sallittu kaukana ihmisistä ja asutuksesta UAS-ilmatilavyöhykkeet tulee huomioida
Koulutusvaatimus	Yli 250 gramman laitteen kauko-ohjaajan tulee olla suorittanut verkkotentti	Verkkotentti ja valvottu lisäteoriakoe	Verkkotentti

Kuva 1. Dronien vaatimukset eri kategorioissa (Droneinfo 2021).

3.4 Käyttömahdollisuudet metsätaloudessa

Droonien helppokäyttöisyyden takia niiden käyttö on yleistynyt metsätaloudessa. Droonilla kuvattaessa saadaan uusia näkökulmia metsäpalstojen kokonaisuuksien tarkkailuun sekä nykytilanteiden havainnollistamiseen. Droonilla tehdyn kuvauksen avulla tietoa metsävaroista sekä metsän kunnosta saadaan toimitettua metsänomistajille huomattavasti nopeampaa verrattuna maastossa tehtyyn havainnointiin.

Tämä luo erilaisia mahdollisuuksia metsäsuunnittelun tehokkuuden optimointiin sekä myös metsävarojen mittaukseen. Droonikuvauksen nopeus on yksi sen vahvuuksista, sillä 25 min:n lennon aikana on jo mahdollista havainnoida metsää yli 100 ha. Lennon aikana on myös jo mahdollista tehdä havainnot metsän yleisilanteesta droonin lähettämän videokuvan avulla. Mielenkiintoisista kohteista voidaan taltioda valokuvia myöhempää tarkastelua varten. (Dronedari 2021.)

Droonikuvauksen soveltuvuudesta metsäalan käyttöön on tehty viime aikoina useita tutkimuksia. Esimerkiksi Saana Pulkkisen opinnäytetyössä vuodelta 2020 tutkittiin mahdollisuutta kirjanpainajatuhojen kartoittamiseen multispektrikameralla. Tuloksista saatiin selville, että tutkimuksen mallilla on mahdollista selvittää sairaita puita, mutta malli oli varovainen ja varhaisessa vaiheessa sairastuneita puita ei saatu selville. Ongelmana oli myös puiden löytäminen ja havainnointi, sillä tuloksissa 71 % koealan puista onnistuttiin löytämään ja tunnistamaan puuksi. (Pulkinen 2020.)

Mikko Harjusen opinnäytetyössä vuodelta 2021, tutkittiin droonilla havaittujen ajourapainaumien validointia. Tavoitteena oli selvittää, pystyykö droonilla mitata harvennuskohteiden ajourapainauksia ilmasta käsin hyvällä tarkkuudella. Yhtenä kohteena tuloksissa tarkasteltiin yli 10 cm painaumien vastaavuuksia maastomittauksiin, jossa saatiin yhdellä kohteella 82 % vastaavuus, toisella kohteella 84 % vastaavuus, mutta viimeisessä kohteessa ainoastaan 31 % vastaavuus. (Harjunen 2021.)

Piia Pyhälähden opinnäytetyössä vuodelta 2018 tutkittiin mahdollisuutta käyttää droonia metsänojituskohdeiden laskeutusaltaiden kunnan arvioimisessa. Tutkimuksessa tarkasteltiin kahdella kohteella eri-ikäisiä laskeutusaltaita, joista kaksi sijaitsivat aina samassa kohteessa. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että droonilla tehty ilmakekuus ei sovellu kyseiseen tarkoitukseen tarpeeksi hyvin. Laskeutusaltaiden kokoa ja muotoa pystyttiin kuvista arvioimaan, mutta altaiden täyttyneisyyttä ei ollut kuvista mahdollista arvioida. (Pyhälähti 2018.)

Ruotsissa ollaan kehittämässä droonia puunkorjuuseen. Ruotsin Uppsalassa sijaitseva Airforestry on rakentamassa ensimmäistä täysimittaista puunkorjuudroonia. Kyseisen laitteen läpimitta olisi yli kuusi metriä ja se rakennettaisiin hiihlikuituosista. Drooniin ripustettaisiin kiinni 60 kilon painoinen hakkuupää, joka mahdollistaisi ensiharvennusten tekemisen kyseisellä laitteella. Ruotsin valtion metsiä hoitava Sveaskog on lähtenyt myös kumppaniksi droonin kehitystyöhön. Kehitystyö on vielä alkuvaiheessa. (Metsälehti 2021.)

Metsä Group on kokeillut droonikuvausta myös metsäsuunnitelman tekemisessä. Droonin kerrotaan kuvaavaan noin 70 ha metsää yhden tunnin aikana. (Uusiteknologia.fi 2019). Droonia on myös käytetty tehtaiden puupinojen sekä hakekasojen mittaukseen. Droonilla tilavuuksien määrittäminen hoituu kymmenissä minuuteissa, kun ihmistyövoimin aikaa kuluisi työpäivän verran. Tarkkuus saatiin kuvauksissa myös hyvälle tasolle. Droonia käytetään ensisijaisesti tehtaan valvontaan ylailmoista, sillä sen avulla voidaan havaita tulipaloja vaikeasti saavutettavista paikoista. Droonin on myös mahdollista lähettää lämpökamerakuva. (Simula 2018.)

3.5 Fotogrammetria

Fotogrammetrian tarkkuus, nopeus sekä usein sen kustannustehokkuus tekevät siitä käytännöllisen tavan mallintaa alueen tai kohteen sen visualisointia varten. Kohteesta otettujen valokuvien avulla on mahdollista luoda kolmiulotteinen digitaalinen aineisto fotogrammetrialla. Suosituimpia käytettyjä sovelluksia fotogrammetriassa ovat drooneilla kuvattujen ilmakekuvien pohjalta tehdyt 3D-mallit erilaisista kohteista. Näistä luoduista 3D-malleista on mahdollista tehdä muutoksia, kuten poistaa erilaisia osia tai yhdistää siihen uusia. (A1 Media.fi. 2022.)

3D-mallinnus tarjoaa myös metsätalouden kannalta uusia vaihtoehtoja ja näkökulmia monelta eri osa-alueelta. Fotogrammetrian avulla myös metsästä saadaan luotua 3D-malli, jonka avulla metsää pystytään tarkastelemaan aivan uudella tavalla. Tutkimuksessa vuodelta 2018 vertailtiin laserkeilausaineiston sekä fotogrammisen 3D-aineiston arvoa metsätalouden päätöksenteossa. Digitaalisen fotogrammetrian on kerrottu tuottavan jopa yhtä tarkkoja tuloksia metsävaratiedon hankinnassa kuin Suomen sekä Norjan tärkeimmän metsävaratiedon hankintakeinon eli lentolaserkeilauksen avulla. Tutkimuksessa selvitettiin näiden kahden keinon tarkkuuden merkitysevyyttä metsäsuunnittelussa.

Tutkimus perustui 314 koealaan Etelä-Norjassa, joille tuotettiin puustotiedot kaukokartoitusaineistoista regressioanalyysillä käyttäen aluepohjaista menetelmää. Laserkeilausaineistossa tilavuuden keskivirhe oli 20,8 % ja fotogrammetrisen aineiston 27,2 %. Laserkeilausaineisto ja fotogrammetrinen aineisto käytännössä tuottivat samat tulokset koskien hakkuiden ajoituspäätöksiä. Laserkeilauksen pieni tarkkuusero sen hyväksi ei ollut merkittävä tässä aineistossa. (Kangas, Gobakken, Puliti, Hauglin & Naeset 2018.) Fotogrammetriaa on tulevaisuudessa varmasti myös mahdollista hyödyntää myrskytuhojen kartoittamisessa metsissä.

4 Opinnäytetyön tavoite ja tehtävä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka käytännöllistä myrskytuhoalueiden kuvaaminen dronin avulla metsissä on. Opinnäytetyössä oli tavoitteena tarkastella monelta eri kannalta, minkälaista hyötyä metsäasiantuntijan suorittaman maastotyöskentelyn korvaaminen myrskytuhoaleilla olisi jos se toteutettaisiin dronikuvauksella. Tarkastelua toteutettiin eri osa-alueilta kuten mittauksien tarkkuuden, ajankäytön, työturvallisuuden, yleisen käytännöllisyyden sekä muiden kuvauksesta saatavien hyötyjen suhteen. Näiden tuloksien avulla toimeksiantaja Metsäliitto Osuuskunta pystyi tarkastelemaan, minkälaisia hyötyjä

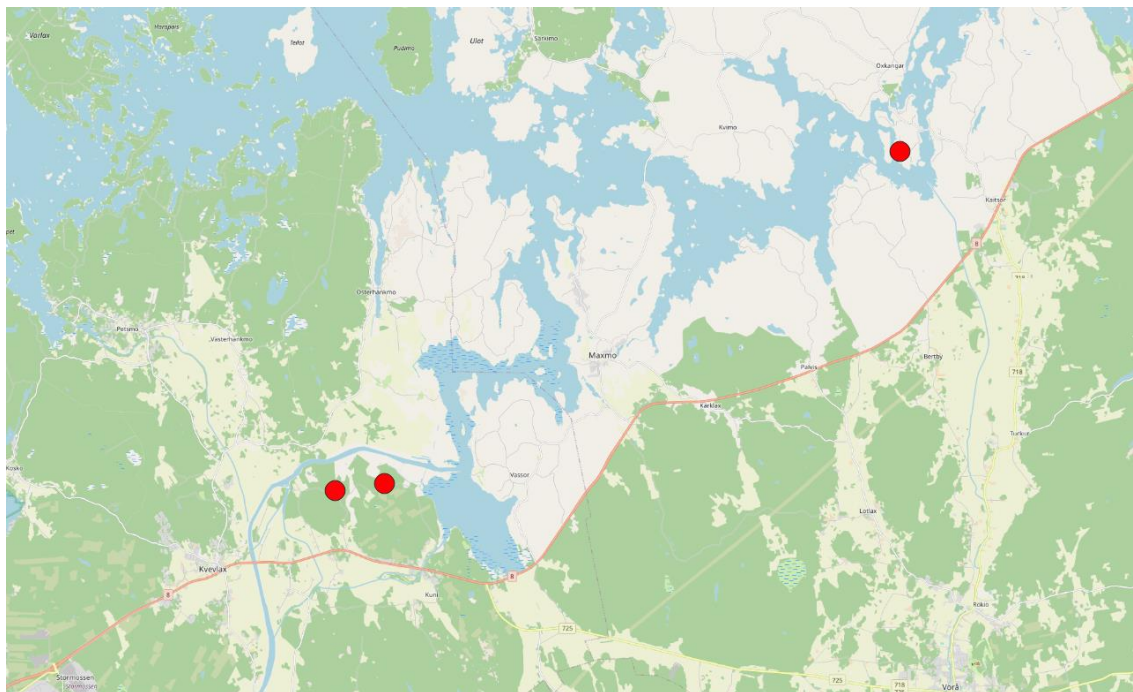
saadaan dronilla kuvatusta aineistosta myrskytuhoalueelta on verrattuna metsäsääsiantuntijan toimesta tapahtuvaan maastotyöskentelyyn.

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii Metsäliitto Osuuskunta. Metsä Group muodostuu Metsäliitto Osuuskunnasta, siihen kuuluvista Metsä Forestista ja Metsä Woodista sekä osuuskunnan tytäryhtiöistä Metsä Tissuesta, Metsä Boardista ja Metsä Fibrestä. Metsä Group on suomalainen kansainvälisesti toimiva metsäteollisuuskonserni. Metsä Groupilla on tällä hetkellä yritystoimintaa 30 eri maassa ja tuotantoa 8 eri maassa. Osuuskunnan jäsenenä on lähes 100 000 metsänomistajaa. Metsä Forest toimii puunhankintana sekä metsäpalveluna, joka palvelee metsänomistajia sekä puuta käyttävää teollisuutta. Puuta ostetaan Metsä Forestin kautta vuosittain noin 36 milj. m³, joista valtaosa tulee metsänomistajilta suomesta.

5 Tutkimuksen toteuttaminen

5.1 Aineiston keruu

Opinnäytetyön tutkimusaineisto koostui dronilla otetuista ilmakuvista myrskytuhoalueilla. Kuvaukset toteutettiin Vöyrin kunnan alueella, kolmella eri myrskytuhoalueella, joissa on kuluneen kesän aikana metsässä kaatunut pystypuuta (kuva 2). Kuvaukset suoritettiin lokakuun 2021 aikana Metsäliitto osuuskunnan hankkiman kolmannen osapuolen drooniyrittäjän Ekodrone Oyn kalustolla. Kuvaukset toteutettiin Phantom 4 pro -mallisella dronilla jokaisella kuvilla 70–100 m:n korkeudelta. Phantom 4 -kopterissa oleva kamera mahdollistaa 4k-videokuvan 30 fps:n nopeudella ja 1080 p:n jopa 120 fps:n nopeudella. Kameralla on mahdollista saada stillkuvia jopa 12 megapikselin koossa Adoben DNG RAW -formaattissa. Kopterin akku kestää jopa 28 min ja suurin mahdollinen huippunopeus on 72 km/h. Pisin mahdollinen kantama optimaalisissa olosuhteissa on 5 kilometriä.



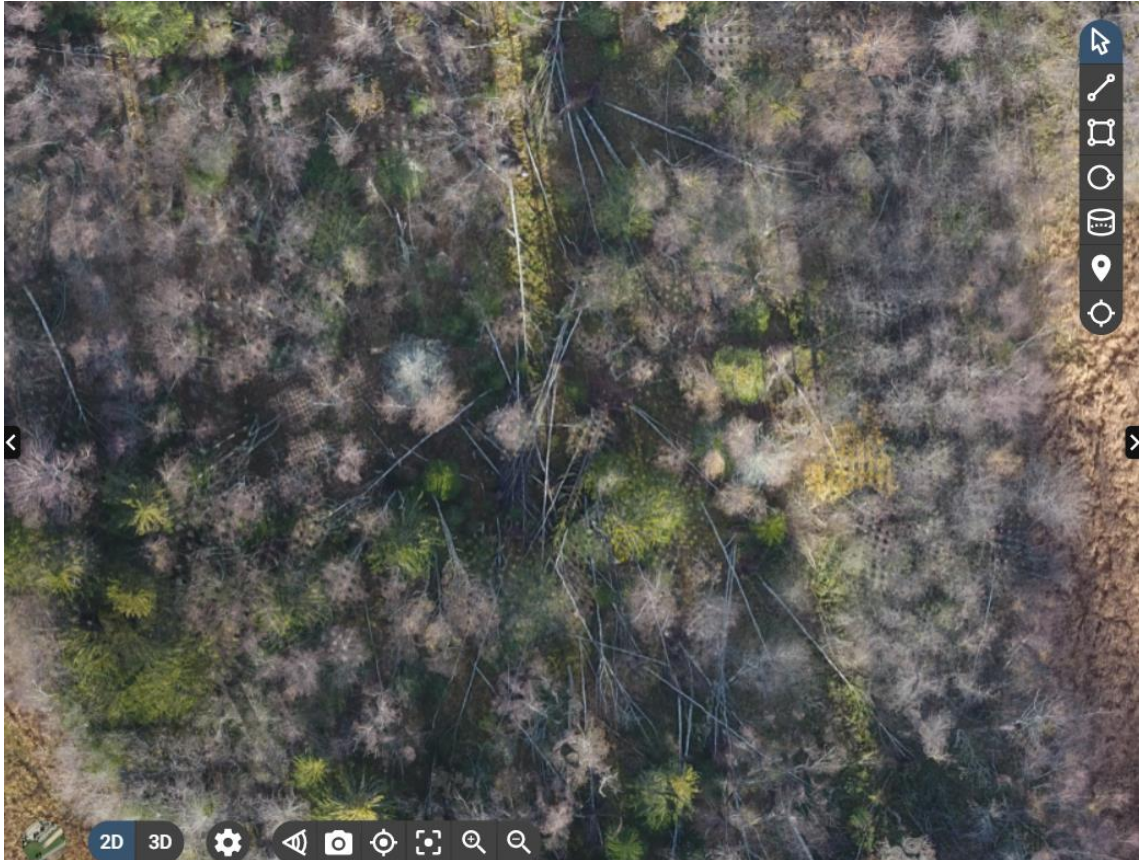
Kuva 2. Kuvioiden sijainti kartalla (Openstreetmap 2022).

Droonin lentoreitti suunniteltiin Pix4D app -sovelluksella, joka on mahdollista ladata iOS- tai Android -pohjaisille laitteille. Lentoreitti tehtiin Google Mapsin pohjalta, mihin pystyttiin määrittelemään lennonkorkeus, kuvaustiheys sekä kameran kuvakulma. Kuvaustiheytenä tutkimuksen kuvauksessa käytettiin 75 % sivuttaissuunnassa ja 75 % pitkittäissuunnassa.

Tästä kuvauksesta saadut ilmakuvat syötettiin PIX4Dcloud -nimiseen ohjelmistoon, joka muodosti automaattisesti kuvista ortokuvan. PIX4Dcloud on pilvipohjainen droonikuvien käsittelyohjelma. Ohjelmistolla on mahdollista tarkastella kuvia 2D- tai 3D-muodossa sekä analysoida niitä. PIX4Dcloudissa on mahdollista tehdä tarkkoja ja georeferoituja ortomosaiikkeja, 3D-verkkoja, pistepilviä sekä korkeusmalleja. Kuvia ja tuloksia on helppo jakaa URL-osoitteen avulla esimerkiksi tiimin tai asiakkaiden välillä. Ortokuvien luonnin mahdollisti se, että ohjelmisto saa jokaisesta kuvasta GPS- sekä korkeustiedot.

PIX4Dcloudin tuottaman ortokuvan avulla kaatuneiden puiden tilavuutta laskettiin mahdollisuuksien mukaan joko automaattisesti tai käsin poimien ja laskien (kuva 3.). Tästä saatavien tulosten vertailukohteeksi pyrittiin saamaan kyseisiltä myrskytuhokohteilta hakkuukoneen mittalistat. Kuviolta pyritään mahdollisuuksien mukaan hakkaamaan myrskyissä kaatuneen puut omalle listalle, jolloin niitä pystyttäisiin vertaamaan suoraan tilavuuksien osalta ilmakuvista saatuihin

mittatuloksiin. Hakkuut toteutettiin talvella 2021–2022. Automaattisen kuvantunnistusalgoritmin mahdollisuutta selvitettiin tutkimuksen alkuvaiheessa, mutta lopulta se ei ollut vielä hyödynnettävissä. Ortokuvista tehdyt mittaukset toteutettiin tutkimuksessa käsin PIX4Dcloudin mittatyökalujen avulla.



Kuva 3. Ortokuva myrskytuhoalueesta PIX4DCloudista. (Ekodrone Oy 2021).

5.2 Tulosten analysointi

Droonilla kuvatuista ilmakuvista muodostettiin PIX4Dcloud- ohjelmiston avulla ortokuvat myrskytuhoalueista, joista tehtiin mittauksia kaatuneen puuston pituuksien ja läpimittojen suhteen. Mittaukset onnistuttiin tekemään suoraan ohjelmiston omien mittatyökalujen avulla. Toisessa mittaustavassa laskettiin ainoastaan myrskytuhoalueelta tunnistettujen runkojen lukumäärä puulajeittain käyttämällä apuna ohjelmiston merkkaustyökaluja. Molemmat mittaustavassa kelloitettiin. Kaatuneiden runkojen pituudet ja läpimitat kirjattiin Excel-taulukoihin, joiden avulla laskettiin jokaiselle rungolle tilavuus käyttäen apuna kaavaa $V = g \times$

$h \times f$, jossa v = rungon tilavuus, g = poikkileikkauspinta-ala, h = puun pituus ja f = puun muotoluku. Jokaiselle rungolle saatiin näin laskemalla tilavuudet, joiden avulla voitiin laskea keskitilavuudet kaatuneille rungoille puulajeittain. Lisäksi tilavuuksia laskettiin myös avoimen metsävaratiedon puustotunnuksien avulla.

Myrskytuhoalueita oli yhteensä kolme, jotka kuvattiin droonilla. Kahdelta ensimmäiseltä kuviolta saatiin hakkuukoneelta mittalistat, joiden avulla voitiin verrata mittausten tarkkuutta. Kuviolta 1 kaikki kuvion puut hakattiin samalle listalle, joten siitä ei ollut mahdollista saada pelkästään kaatuneiden runkojen tilavuuksia tai runkojen lukumääriä. Kuviolta 2 tämä oli kuitenkin mahdollista, eli kyseisellä kuviolla hakattiin kaatuneet rungot omalle hakkuulistalle, josta niiden lukumäärien ja tilavuuksien vertaaminen kuvista tehtyihin laskelmiin oli mahdollista. Vertailua tehtiin laskemalla prosentuaaliset virheet motolistalta ja mittauksista saaduista keskitilavuuksista puulajeittain sekä lopuksi myös avoimen metsävaratiedon avulla laskettuja tilavuuksia verrattiin motolistalta saatuihin tilavuuksiin. Kuviolta 2 laskettiin myös ortokuvista tunnistettujen kaatuneiden runkojen prosentimäärä verrattuna motolistalta saatujen runkojen määrään.

Molemmat mittausprosessit kellotettiin ottamalla aikaa siitä, kuinka kauan jokaisella kuviolla meni runkojen mittauksiin. Toisessa mittauksessa kellotettiin vain kaatuneiden runkojen lukumäärän laskemista, kun toisessa mittaukseen otettiin mukaan myös kaatuneiden runkojen läpimittojen ja pituuksien mittaaminen. Erään arvion mukaan, metsäasiantuntija kartoittaa maastotyönä liikkeessään jalan noin 0,8 ha metsää h:ssa. Tätä arviota käytettiin vertauskohteena tutkimuksen kohteiden eri mittauksien ajanmenekkiin.

Tutkimuksessa huomioitiin myös mahdollisuudet leimikon suunnitteluun droonin ottamista kuvista. Myrskytuhoihin liittyen leimikon suunnittelua voidaan hyödyntää esimerkiksi miettiessä, onko myrskytuhoalue niin laajasti myrskyn vaurioitama, jolloin se kannattaa korjata kokonaisuudessaan päätehakkuulla. Toinen vaihtoehto myrskytuhokohteella on harvennus, jolloin tervettä ja vahingoittumatonta pystypuuta tulee olla tarpeeksi. Dronin ottamien kuvien avulla on ainakin mahdollista pystypuuston määrän avulla arvioida, kannattaako myrskytuhoalueella toteuttaa harvennus vai päätehakkuu.

Muita yleisesti leimikon suunnittelun kannalta hyödyllisiä asioita tutkittiin myös droonin ottamista kuvista. Esimerkiksi kuvista tutkittiin, että pystyisikö kuvien avulla suorittamaan hakkukoneen ajourien suunnittelua. Tämä tarkoittaa sitä, että kuvien avulla metsäkuvioilta yritettiin tunnistaa mahdollisia esteitä kuten kosteikkoja tai pehmeämpää maata.

Tutkimuksessa mietittiin myös työturvallisuuteen vaikuttavia asioita. Myrskytuhoalueella metsässä esiintyy enemmän työturvallisuusriskejä kuin tavanomaisessa tilanteessa metsäasiantuntijan kävellessä metsässä. Kyseisiä riskejä lisäävät esimerkiksi tuulenkaadoista aiheutuneet konkelot, sähkölinjoille kaatuneet puut sekä vaikeutunut maasto. Metsäasiantuntijan maastotyöskentelyn korvaaminen droonikuvauksella parantaisi työturvallisuutta näiden seikkojen osalta. Metsäkeskuksen tilastoista voidaan tarkastella, paljonko Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueella ilmoitetaan vuosittain myrskytuhoalueiden hakkuita metsänkäyttöilmoituksissa (kuviot 1, 2, 3, 4). Näihin tilastoihin verrattaessa, voidaan suuntaa antavasti miettiä, että kuinka paljon metsäasiantuntijoiden maastotyöskentely voisi vähentyä.

6 Tulokset

6.1 Kuvio 1

Ensimmäinen kuvio oli metsätyypiltään tuore kangas. Maalaji kuviolla oli kivinen keskikarkea tai karkea kangasmaa. Pääpuulajina kuviolla oli kuusi. Avoimen metsävaratiedon mukaan kuvion puuston keskiläpimitta oli 28 cm ja keskipituus 21 metriä. Runkoluku kuviolla oli 660 runkoa hehtaarilla.

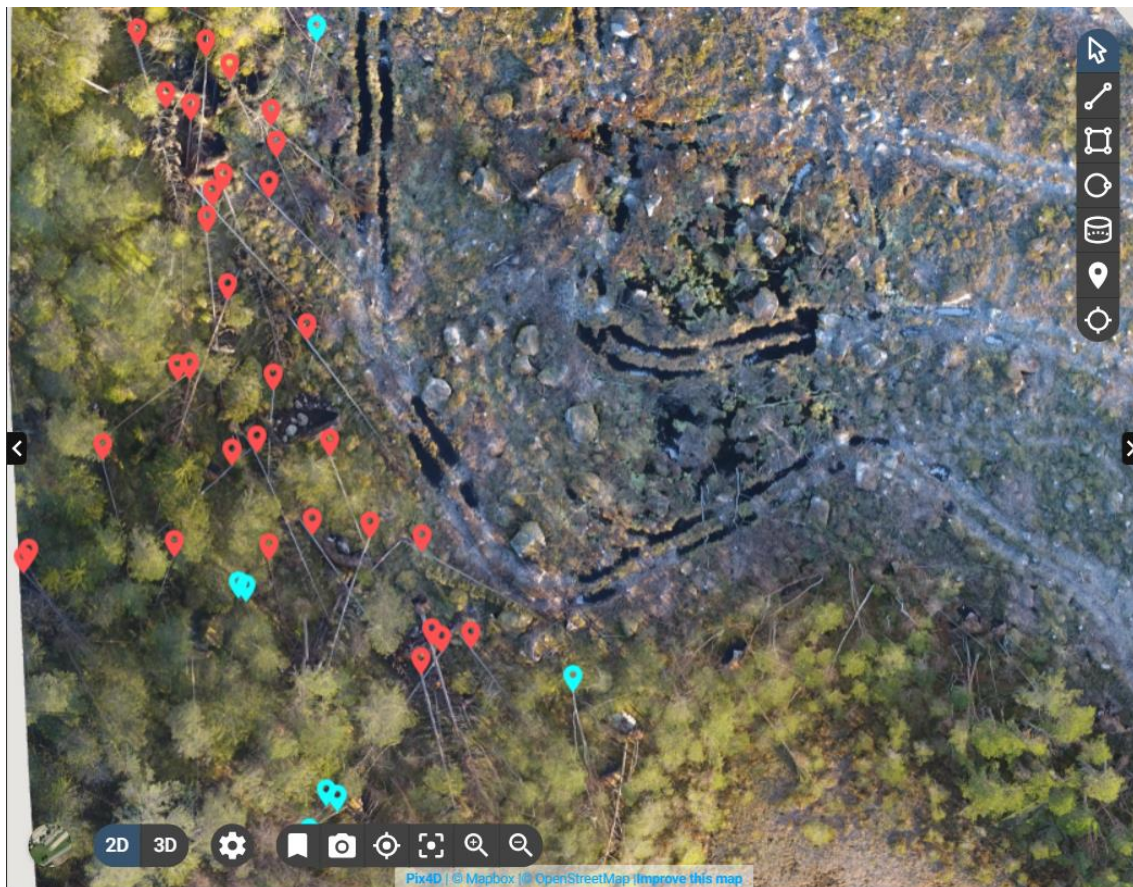
Tulosten tarkastelussa ortokuvista tutkittiin runkojen mittaamista kahdella eri tavalla jokaiselta kuviolta. Lähtötilanne ensimmäisen kuvion ortokuvasta (Kuva 4) ennen mittauksien aloittamista. Ensimmäiseltä kuviolta hakattiin myrskytuhopuiden lisäksi koko kuvion puut, jolloin mittausta ei voitu verrata suoraan pelkäästään kaatuneiden runkojen keskitilavuuteen. Tästä mittauksesta saatuja tuloksia voitiin kuitenkin verrata koko kuviolta hakattujen runkojen keskitilavuuteen ja

mitata sen avulla mittauksen tarkkuutta. Vertailua tehtiin myös avoimen metsävaratiedon avulla laskettujen keskitilavuuksien avulla.



Kuva 4. Kuvio 1 ennen mittauksia (Ekodrone Oy 2021).

Ensimmäisessä mittauksessa laskettiin pelkästään kaatuneiden runkojen lukumäärä, ja ne lajiteltiin puulajin mukaisesti taulukkoon. Eri puulajit merkattiin erivärisellä merkkaustryökalulla, koivut sinisellä ja kuuset punaisella merkinnällä (kuva 5).



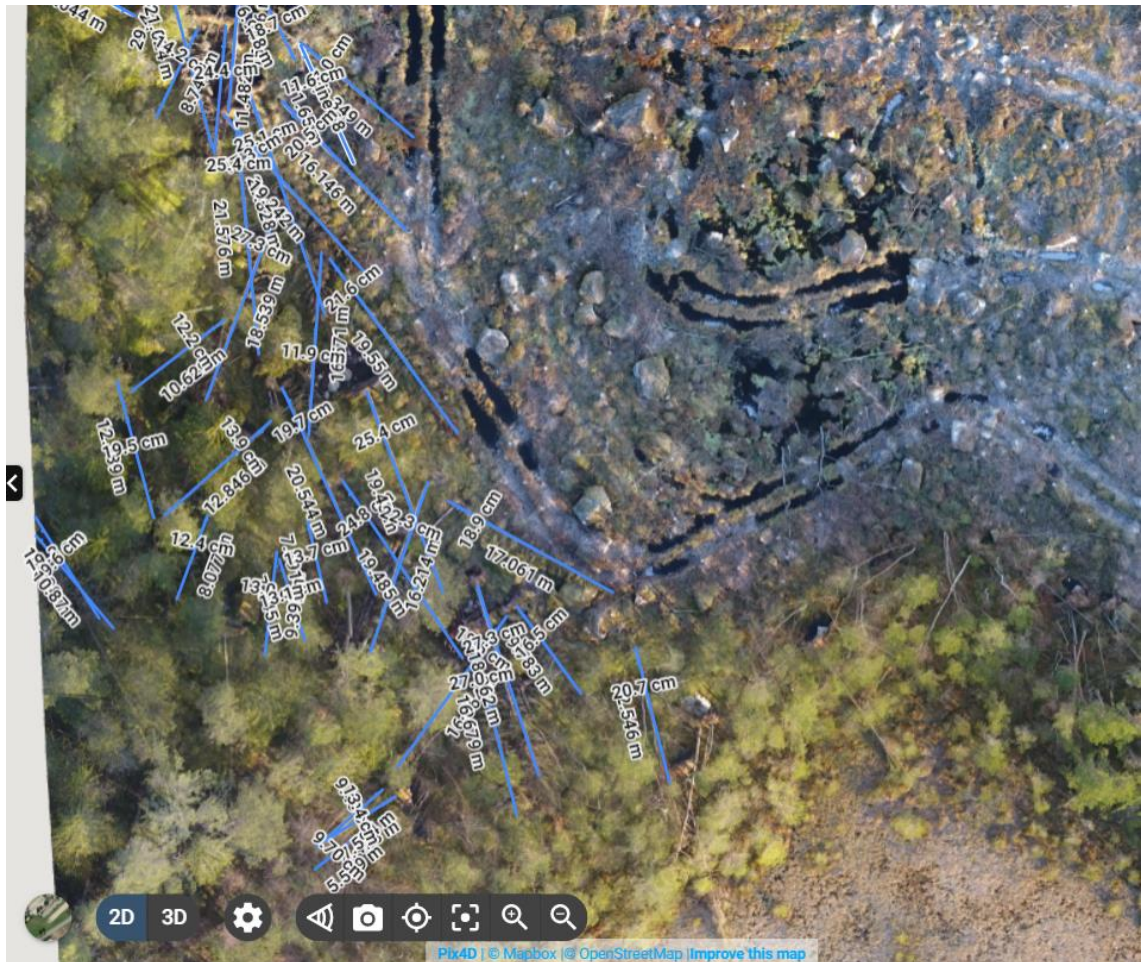
Kuva 5. Kaatuneiden runkojen lukumäärän laskeminen puulajeittain kuviolta 1 (Ekodrone Oy 2021).

Tämän jälkeen niiden lukumäärä laskettiin taulukkoon ja koko prosessi kellotettiin. Kuvasta onnistuttiin tunnistamaan kaatuneita runkoja yhteensä 49 kappaletta. Puulajeittain laskennassa saatiin kuviolta tunnistettua 32 kuusta ja 17 koivua. Kellottamisella laskennan ajaksi saatiin 9 minuuttia 20 sekuntia (taulukko 1).

	Rungot
Kuusi	32
Mänty	-
Koivu	17

Taulukko 1. Kaatuneiden runkojen lukumäärien laskemista kuviolta 1.

Toisessa mittauksessa kuvista laskettiin kaatuneista puista ohjelmiston mittatyökaluilla pituudet sekä läpimitat (Kuva 6). Kyseinen laskenta kellotettiin samanlaisesti ja runkojen mittaamiseen käytettiin aikaa yhteensä 26 minuuttia ja 45 sekuntia.



Kuva 6. Kaatuneiden runkojen mittaamista kuviolta 1. (Ekodrone Oy 2021).

Kuvio 1 hakattiin loppusyksystä 2021, ja kyseiseltä kohteelta saatiin hakkuukooneelta motolista vertausaineistoksi (kuva 7). Motolistalle hakattiin pystypuusto sekä myrskyssä kaatunut puusto samalle listalle, jolloin pelkkien kaatuneiden runkojen tilavuuksia ei saatu eriteltä, mutta mittauksen tuloksia sekä avoimesta metsävaratiedosta tehtyjä laskelmia voitiin kuitenkin verrata koko kuvion puuston keskitilavuuksiin.

Uppgifter om stamslag (moto)

Beskrivning	st	Löpmeter	m3/stam	m3
TALL, STOCKSTAM	168	3 055,3	0,781	131,2
TALL, MASSAVEDSTAM	61	758,7	0,310	18,9
GRAN, STOCKSTAM	260	4 229,4	0,475	123,5
GRAN, MASSAVEDSTAM	312	2 819,1	0,234	73,1
BJÖRK, MASSAVEDSTAM	95	823,4	0,147	14,0
ASP, MASSAVEDSTAM	71	984,1	0,515	36,6
Sammanlagt	967	12 670,0	0,411	397,3

Stamvolym per trädslag

Beskrivning	m3/stam
Tall	0,655
Gran	0,344

Kuva 7. Mittalista kuviolta 1 (Metsäliitto Osuuskunta 2022).

Kuvista tehtyjen mittauksien sekä kuvioiden hakkaamisen jälkeen, molemmista prosesseista saatiin puulajeittain keskitilavuuden selville, joita pystyttiin verrata toisiinsa. Mittalistasta selviää, että myrskytuhokuviolla koivun keskitilavuus oli $0,147 \text{ m}^3$ ja kuusen keskitilavuus oli $0,344 \text{ m}^3$. (kuva 7). Ortokuvista tehdyt mitaukset kirjattiin ylös Excel-taulukkoon, jonka avulla jokaisesta kaatuneesta puusta laskettiin tilavuudet kaavan $V = g \times h \times f$ avulla, jossa V = rungon tilavuus, g = poikkileikkauspinta-ala, h = puun pituus ja f = puun muotoluku. Tämän jälkeen laskettujen tilavuuksien avulla määritettiin kuviolta laskettujen puiden keskitilavuudet puulajeittain (liite 1). Samalla kaavalla laskettiin keskitilavuudet myös avoimen metsävaratiedosta saatavista puustotunnuksista.

Tämän laskennan avulla saatiin tulokseksi mittauksista kaatuneiden runkojen keskitilavuuksiksi koivulle $0,139 \text{ m}^3$ ja kuuselle $0,255 \text{ m}^3$. Avoimen metsävaratiedon perusteella keskitilavuuksiksi saatiin koivulle $0,581 \text{ m}^3$ ja kuuselle $0,607 \text{ m}^3$. Näitä tuloksia vertaamalla motolistan keskitilavuuksiin, voitiin laskea keskitilavuuksien prosentuaaliset virheet kaavalla (mitattu arvo – todellinen arvo) / todellinen arvo. Kaavalla saatiin tulokseksi prosentuaalisen virheen olevan kuvasta tehdyistä mittauksista koivujen osalta 5,3 % ja kuusten osalta 25,7 %. Avoimen metsävaratiedon perusteella tehdyistä laskelmista prosentuaaliset virheet olivat koivujen osalta 295 % ja kuusten osalta 76,6 %.

Myrskytuhoalueen pinta-ala, josta laskenta suoritettiin, oli noin 0,47 ha (kuva 8). Droonikuvassa näkyy myös kaatuneita runkoja, jotka sijaitsivat viereisellä kuviolla, jota hakkuuseen ei sisällytetty. Ainoastaan kyseisellä kuviolla olleet kaatuneet rungot otettiin mukaan mittauksiin. Kuvion koko mitattiin alueelta, jossa kaatuneita runkoja havaittiin. Pinta-alan mittaamisessa käytettiin apuna ohjelmiston polygon-mittatyökalua.



Kuva 8. Myrskytuhoalueen koko kuviolla 1 (Ekodrone Oy 2021).

Ajanmenekkiä verrattaessa voitiin käyttää apuna erään arvion mukaisesti, että metsäasiantuntija kartoittaa metsää maastotyöskentelynä 0,8 ha/h. Myrskytuhoalueen ollessa 0,47 ha voidaan arvioiden perustuen laskea kyseisen alueen kartoittamiseen maastotyöskentelynä aikaa kuluvan arviolta 35 minuuttia ja 25 sekuntia.

6.2 Kuvio 2

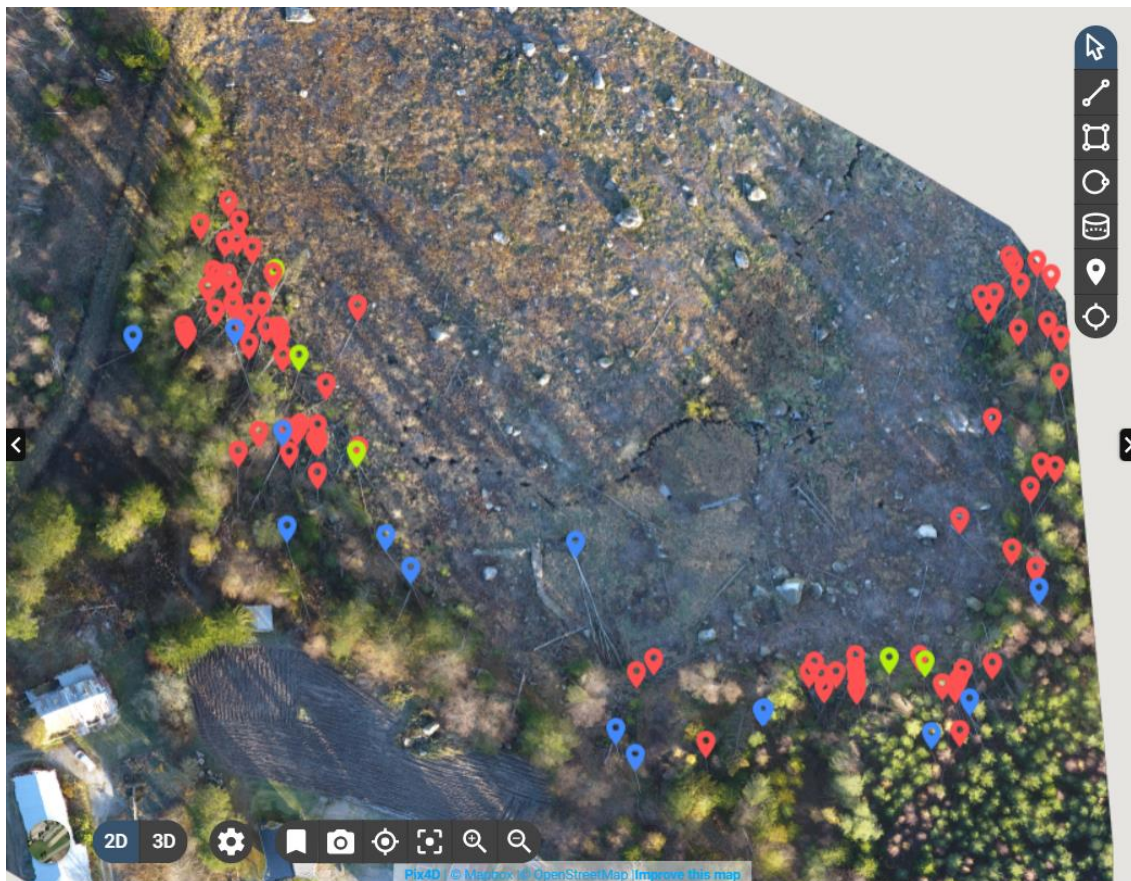
Toinen kuvio oli metsätyypiltään tuore kangas. Maalaji kuviolla oli keskikarkea tai karkea kangasmaa. Pääpuulajina kuviolla oli kuusi. Avoimen metsävaratiedon mukaan kuvion puuston keskiläpimitta oli 25,3 cm ja keskipituus 19,6 metriä. Runkoluku kuviolla oli 649 runkoa hehtaarilla.

Tutkimuksen toiselle myrskytuhokohteelle tehtiin samanlaiset mittaukset kuin ensimmäiselle kohteelle. Verrokkikuvana lähtötilanne kyseisellä kohteella (kuva 9). Myrskytuhokohteelta kaatuneet rungot saatiin hakattua erikseen motolistalle, jolloin mittauksesta saatujen runkojen keskitilavuutta sekä avoimen metsävaratiedon avulla laskettuja keskitilavuuksia voitiin verrata motolta saatuihin runkojen keskitilavuuteen.



Kuva 9. Kuvio 2 ennen mittauksia (Ekodrone Oy 2021)

Ensimmäinen laskenta suoritettiin puulajeittain kaatuneiden runkojen määrästä. Kaatuneet rungot merkittiin kuvaan merkkaustryökaluilla, koivut sinisellä, kuuset punaisella ja männyt vihreällä merkinnällä (kuva 10).



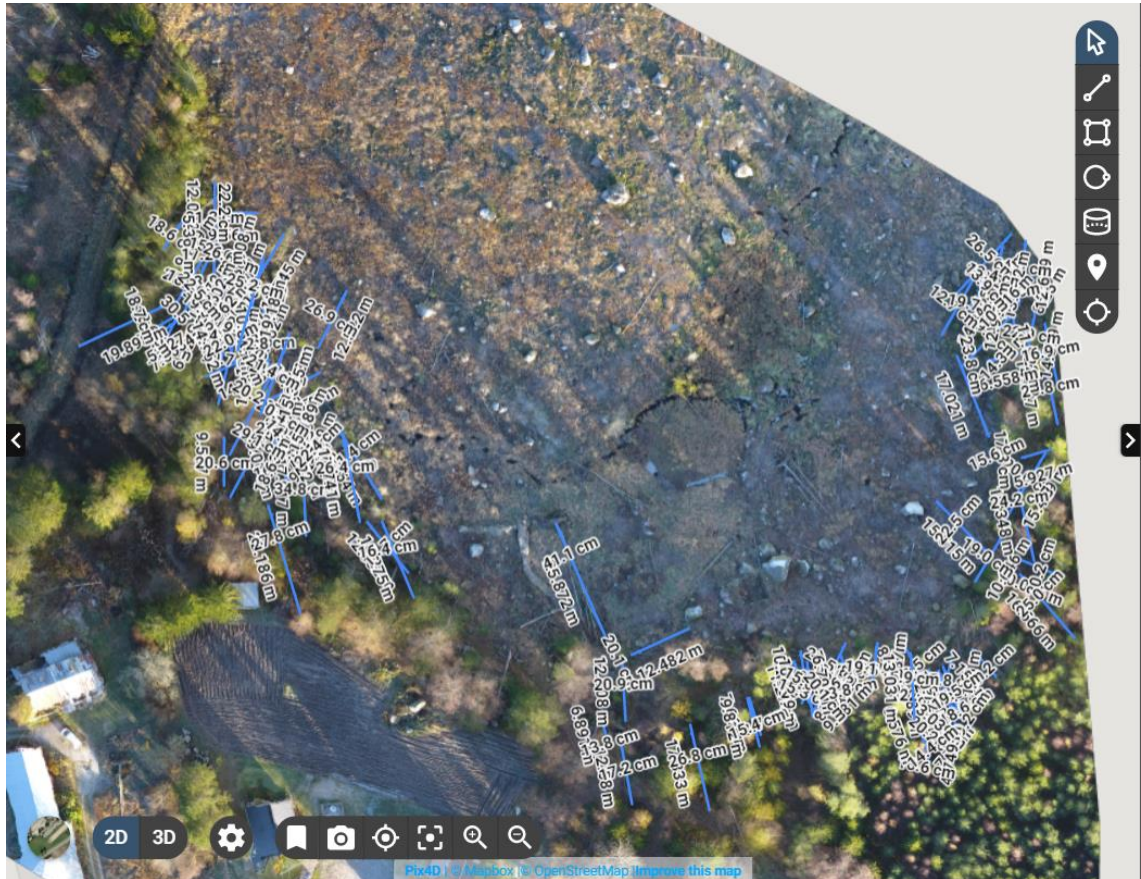
Kuva 10. Kaatuneiden runkojen lukumäärän laskeminen puulajeittain kuviolta 2 (Ekodrone Oy 2021).

Kaatuneita runkoja tunnistettiin kuviolta laskennassa yhteensä 101 ja puulajeittain luokiteltuna 84 kuusta, 5 mäntyä ja 12 koivua. Kellottamisen mukaan aikaa kului laskentaprosessiin yhteensä 11 minuuttia ja 8 sekuntia.

	Rungot
Kuusi	84
Mänty	5
Koivu	12

Taulukko 2. Kaatuneiden runkojen lukumäärien laskemista kuviolta 2.

Toinen laskenta toteutettiin samalla tavalla kuin ensimmäisellä kohteella, eli kaatuneista rungoista mitattiin ohjelmiston mittatyökaluilla pituudet sekä läpimitat puulajeittain (kuva 11). Mittaus kellotettiin ja ajankäytöksi saatiin mittausprosessille 56 minuuttia ja 17 sekuntia.



Kuva 11. Kaatuneiden runkojen mittaamista kuviolta 2 (Ekodrone Oy 2021).

Kuvio 2 hakattiin alkutalvesta 2022 ja kyseiseltä kohteelta saatiin hakkuukooneelta motolista vertausaineistoksi (kuva 12). motolistalle hakattiin erikseen myrskyssä kaatunut puusto omalle listalleen, jolloin kaatuneiden runkojen tarkat lukumäärät sekä tilavuudet saatiin verrattavaksi ortokuvista tehtyjen laskentojen ja mittauksien tuloksiin. Vertailua tehtiin myös avoimen metsävaratiedon avulla laskettuihin keskitilavuuksiin. Tällä tavalla saatiin mahdollisimman tarkka tulos mittauksien ja laskennan tarkkuudesta.

Runkolajit

Kuvaus	Koodi	kpl	jm	m3/runko	m3
MÄNTYTUKKIRUNKO	11	7	137,21	0,706	4,9
MÄNTYKUITURUNKO	12	4	36,53	0,428	1,7
KUUSITUKKIRUNKO	21	2	20,97	0,401	0,8
KUUSIKUITURUNKO	22	93	829,60	0,286	26,6
KOIVUKUITURUNKO	32	10	139,82	0,391	3,9
HAAPAKUITURUNKO	42	1	9,30	0,138	0,1
Kaikki yht:		117	1 173,43	0,326	38,1

Kuva 12. Mittalista kuviolta 2 (Metsäliitto Osuuskunta 2022).

Ensimmäisen mittauksen sekä kuvioiden hakkaamisen jälkeen, molemmista prosesseista saatiin selville myrskytuhoalueella olevien kaatuneiden runkojen

määrä puolajettain, mitä voitiin verrata keskenään. Kuvista tehdystä mittauksesta saatiin tulokseksi 84 kuusta, 5 mäntyä ja 12 koivua. Mittalistan perusteella kaatuneita runkoja oli kuusia 95, mäntyjä 11 ja koivuja 10 (kuva 12). Näiden lukujen perusteella voitiin laskea, että ortokuvista tunnistettiin kuusista 88,4 %, männyistä 45,5 % sekä koivuja löytyi 20 % enemmän kuin niitä todellisuudessa oli. Kokonaismäärässä kaatuneita runkoja tunnistettiin yhteensä 101 ja todellisuudessa niitä oli 116. Tämä tarkoittaa sitä, että 87,1 % kaatuneista rungoista tunnistettiin ortokuvista.

Toisen mittauksen sekä kuvioiden hakkaamisen jälkeen molemmista prosesseista saatiin puolajettain keskitilavuudet selville, joita pystyttiin vertailemaan toisiinsa. Motolistasta selviää, että myrskytuhokuviolla kaatuneiden koivujen keskitilavuus oli 0,391 m³, kaatuneiden kuusien keskitilavuus oli 0,288 m³ sekä kaatuneiden mäntyjen keskitilavuus oli 0,6 m³ (kuva 12).

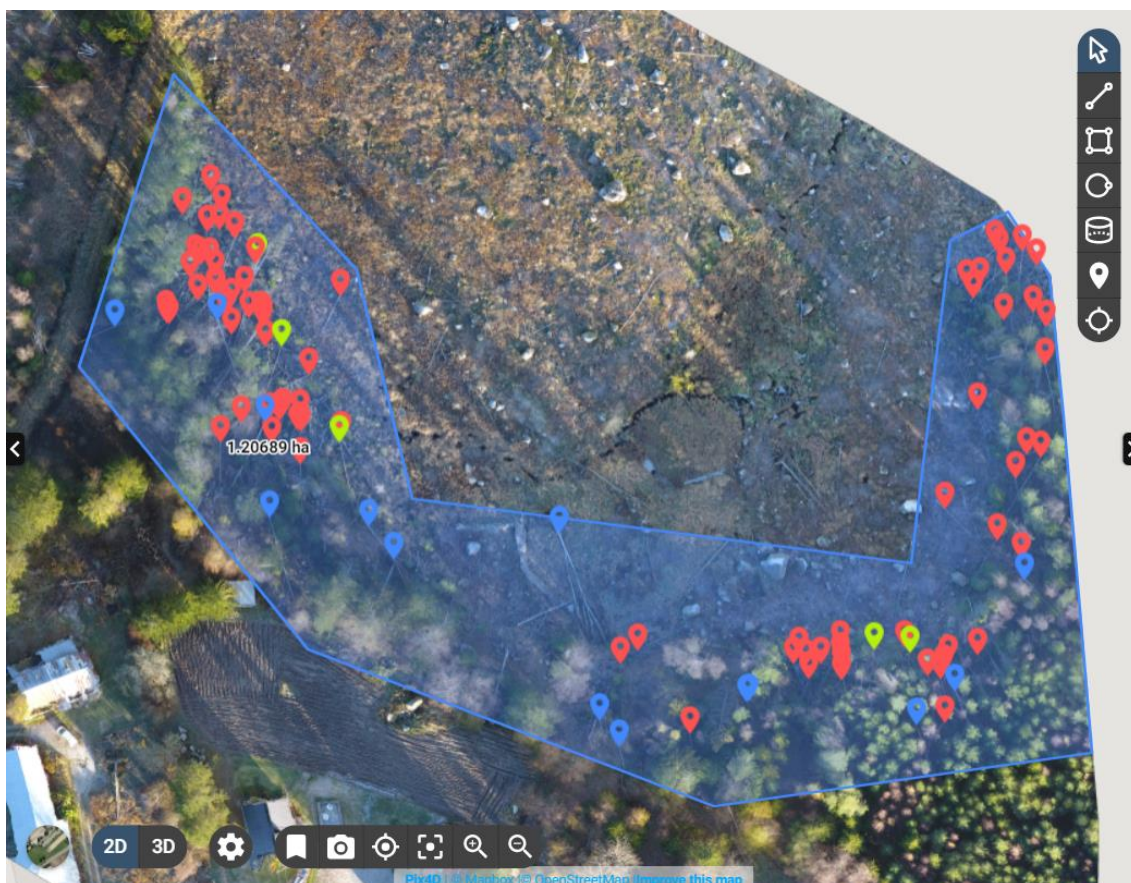
Kuusten ja mäntyjen keskitilavuus saatiin laskemalla tukki- ja kuiturunkojen kokonaistilavuudet yhteen ja jaettiin se saatujen runkojen lukumäärällä. Ortokuvista tehdyt mittaukset kirjattiin ylös Excel-taulukoon, jonka avulla jokaisesta kaatuneesta puusta laskettiin tilavuus kaavan $V = g \times h \times f$ avulla, jossa v = rungon tilavuus, g = poikkileikkauspinta-ala, h = puun pituus ja f = puun muotoluku. Tämän jälkeen laskettujen tilavuuksien avulla määritettiin kuviolta laskettujen puiden keskitilavuudet puolajettain (liite 2). Samalla kaavalla laskettiin keskitilavuudet myös avoimesta metsävaratiedosta saatavista puustotunnuksista.

Tämän laskennan avulla saatiin tulokseksi kaatuneiden runkojen keskitilavuuksiksi koivulle 0,267 m³, kuuselle 0,208 m³ ja männylle 0,274 m³. Avoimen metsävaratiedon perusteella keskitilavuuksiksi saatiin koivulle 0,581 m³ ja kuuselle sekä männylle 0,463 m³. Näitä tuloksia vertaamalla voidaan laskea keskitilavuuksien prosentuaaliset virheet kaavalla (mitattu arvo – todellinen arvo) / todellinen arvo. Kaavalla saatiin tulokseksi prosentuaalisen virheen olevan koivujen osalta 31,8 %, kuusen osalta 27,9 % ja männyn osalta 54,3 %. Avoimen metsävaratiedon perusteella tehdyistä laskelmista prosentuaaliset virheet olivat koivujen osalta 13,3 %, kuusten osalta 60,7 % ja mäntyjen osalta 22,9 %.

Tuloksissa voitiin vertailla myös mittauksien sekä avoimen metsävaratiedon avulla saatua kokonaistilavuutta kaatuneiden runkojen osalta motolistalta

saatuun tietoon niiden kokonaistilavuudesta. Kokonaisuudessaan myrskytuho-kuviolta kerättiin kaatunutta puuta motolistan mukaan 38.1 m^3 . Kuvista tehtyjen mittauksien mukaan kuviolla olisi ollut kaatunutta puuta 22 m^3 . Avoimen metsävaratiedon puustotunnusten avulla saadun keskitilavuuden puulajeittain sekä kuvista laskettujen kaatuneiden puiden määrät puulajeittain kerrottiin keskenään, jolloin kokonaistilavuudeksi kaatuneiden puiden osalta saatiin 46.5 m^3 . Näitä tuloksia vertaamalla voidaan laskea kokonaistilavuuksien prosentuaaliset virheet kaavalla $(\text{mitattu arvo} - \text{todellinen arvo}) / \text{todellinen arvo}$. Kaavalla saatiin tulokseksi prosentuaalisen virheen olevan kuvista tehtyjen mittauksen osalta 42,2 % ja avoimen metsävaratiedon avulla tehtyjen laskelmien osalta 22 %.

Myrskytuhoalueen pinta-ala, jolta laskenta suoritettiin, oli noin 1,26 ha (kuva 13). Kuvion koko mitattiin alueelta, jossa havaittiin kaatuneita runkoja. Pinta-alan mittaamisessa käytettiin apuna ohjelmiston polygon-mittatyökalua.



Kuva 13. Myrskytuhoalueen koko kuviolla 2. (Ekodrone Oy 2021).

Ajanmenekkiä verrattaessa voitiin käyttää apunaan erästä arviota, jonka mukaan metsäasiantuntija kartoittaa metsää maastotyöskentelynä $0,8 \text{ ha/h}$. Myrskytuhoalueen ollessa $1,2 \text{ ha}$, voidaan arvioon perustuen laskea kyseisen alueen

kartoittamiseen maastotyöskentelynä aikaa kuluva arviolta 1 tunnin ja 30 minuuttia.

6.3 Kuvio 3

Kolmas myrskytuhoalue sisälsi useita eri kuvioita. Suurimmalla osalla kuvioita pääpuulajina oli kuusi tai mänty. Yleisin metsätyyppi myrskytuhoalueen kuvioilla oli tuore kangas ja yleisin maalaji keskikarkea tai karkea kangasmaa.

Kolmannelle kuviolle tehtiin myös samanlainen mittaus kaatuneiden runkojen lukumäärän osalta kuin kahdelle ensimmäiselle kuviolle. Myrskytuhoalue oli pinta-alaltaan kolmesta kuvatuista alueista suurin, joka antaa hyvin osviittaa siitä, miten kaatuneiden runkojen laskeminen onnistuu laajemmalla alueella ja miten sen hyödyt tulevat paremmin esiin verrattuna pienempään myrskytuhoalueeseen. Kyseiseltä myrskytuhoalueelta ei hakattu puuta, mutta laskenta tehtiin silti kaatuneiden runkojen osalta kokeilumielessä. Alueen laajuus ja kaatuneet rungot kuvion sisällä tiheässä metsässä ovat tärkeää tutkimuksen kokonaisuuden kannalta, jolloin saadaan tietoa myös laskennan hyödynnettävyydestä erilaisiin kohteisiin. Verrokkiaineistona kuva lähtötilanteesta ennen mittauksia (kuva 14).



Kuva 14. Kuvio 3 ennen mittauksia (Ekodrone Oy 2021).

Kuviolta laskettiin ainoastaan runkojen lukumäärä puulajeittain ja prosessi kellotettiin. Runkojen lukumäärän laskemiseen aikaa käytettiin yhteensä 29 minuuttia ja 23 sekuntia. Myrskytuhoalueelta kaatuneita runkoja tunnistettiin yhteensä 259. Puulajit merkattiin kuvaan erivärisellä merkkaustryökalulla, koivut sinisellä ja kuuset punaisella (kuva 15).



Kuva 15. Kaatuneiden runkojen lukumäärän laskeminen puulajeittain kuviolta 3 (Ekodrone Oy 2021).

Myrskytuhoalueella kaatuneita runkoja tunnistettiin yhteensä 273 kappaletta. Puulajeittain luokiteltuna kuusia tunnistettiin yhteensä 41 ja koivuja 218. Kellottamisen mukaan aikaa kului laskentaprosessiin yhteensä 29 minuuttia ja 23 sekuntia (taulukko 3).

	Rungot
Kuusi	41
Mänty	-
Koivu	232

Taulukko 3. Kaatuneiden runkojen lukumäärien laskemista kuviolta 3.

Myrskytuhoalueen pinta-ala, josta kaatuneiden runkojen tunnistaminen suoritettiin, oli noin 27,2 ha (Kuva 16). Kuvion koko mitattiin alueelta, jossa kaatuneita runkoja havaittiin. Pinta-alan mittaamisessa käytettiin apuna ohjelmiston polYGON-mittatyökalua.



Kuva 16. Myrskytuhoalueen koko kuviolla 3 (Ekodrone Oy 2021).

Ajanmenekkiä verrattaessa voitiin käyttää apunaan erästä arviota, jonka mukaan metsäasiantuntija kartoittaa metsää maastotyöskentelynä 0,8 ha/h. Myrskytuhoalueen ollessa 27,2 ha, voidaan arvioon perustuen laskea kyseisen alueen kartoittamiseen maastotyöskentelynä aikaa kuluvan arviolta 34 h.

7 Pohdinta

7.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa mittauksia tehtiin droonin ottamista kuvista kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä mittauksessa myrskytuhoalueilta laskettiin ainoastaan kaatuneiden runkojen lukumäärää puulajeittain. Toisessa mittaustavassa jokaisesta kaatuneesta rungosta mitattiin läpimitat sekä pituudet, jolloin kaatuneille rungoille saatiin laskettua puulajeittain keskitilavuudet. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, minkälainen mittaustarkkuus on puunkorjuuta suunniteltaessa tarpeellista tämän tutkimuksen kohteissa. Yksittäisten kaatuneiden puiden mittaaminen on

mahdollista ohjelmiston mittatyökaluilla, mutta se ei palvele toimeksiantajan tärkeintä päämäärää tarpeeksi tehokkaasti. Toimeksiantajan kannalta tärkeämpää on tietää, onko kuviolla kaatunutta myrskytuhopuuta kuutiomäärällisesti tarpeeksi, jotta se olisi kannattavaa korjata koneellisesti. Toimeksiantajalla on omat vaatimuksensa siitä, paljonko kaatunutta myrskytuhopuuta kuviolla tarvitsee olla hehtaaria kohden, jotta koneellinen korjuu on kannattavaa.

Oleellisempaa on selvittää kaatuneen myrskytuhopuun kokonaiskuutiomäärä suuntaa antavasti kuin se, paljonko sitä olisi tarkasti laskettuna kuutiomäärällisesti. Pelkkien kaatuneiden runkojen lukumäärän laskeminen antaa tarvittavan tiedon myrskytuhoalueesta puunkorjuun näkökulmasta. Mikäli myrskytuhoalueelta halutaan saada arvio kaatuneen puun kokonaiskuutiomäärästä, on käytännöllisempi menetelmä käyttää ortokuvista laskettujen runkojen lukumäärää sekä kuvion metsävaratietoja runkojen tilavuuksien arvioinnissa. Tämä laskentatapa avoimen metsävaratiedon avulla antoi myös tässä tutkimuksessa tarkemman tuloksen kuviolla olleesta myrskytuhopuun kokonaistilavuudesta. Tutkimuksesta voidaan todeta kaatuneiden runkojen mittaamisen olevan myös hankalaa ja epäluotettavaa, eikä sen avulla saatu selville todellisia kuutiomääriä riittävällä tarkkuudella. Ortokuvista laskettujen runkojen lukumäärä voidaan kertoa metsävaratiedoista saatavilla keskitilavuuksilla, jolloin saadaan laskettua arvio kokonaiskuutiomäärästä. Kuitenkaan avoin metsävaratietokan ei ole virheetöntä, mutta joissain tapauksissa pelkästään senkin avulla voidaan tehdä päätöksiä puunkorjuun näkökulmasta.

Kuvista tehtäessä kaatuneiden runkojen pituuksien sekä läpimittojen mittauksia, huomattiin niiden olevan liian epätarkkoja sekä tulkinnanvaraisia. Mittauksissa luotettavuutta heikentäviä ulkopuolisia tekijöitä olivat heikkolaatuiset kuvat, jolloin esimerkiksi kuvaa lähemmäksi tarkentaessa läpimittaa oli haastavaa mitata tarkasti. Kaatuneita runkoja oli osaltaan myös mahdotonta mitata tarkasti niiden ollessa pystypuiden peitteessä tai kaatuneet rungot olivat pienellä alueella yhdessä kasassa, jolloin niiden mittaaminen tai laskeminen oli haastavaa. Kuvissa oli myös epätarkkuuksia, jotka saattoivat johtua esimerkiksi auringonvalon heijastuksen vaikutuksista (liite 5).

Ajankäytön suhteen dronin käyttäminen apuna myrskytuhoalueiden kartoittamisessa maastotyöskentelyyn verrattuna tuo sen tärkeimmän hyödyn esiin.

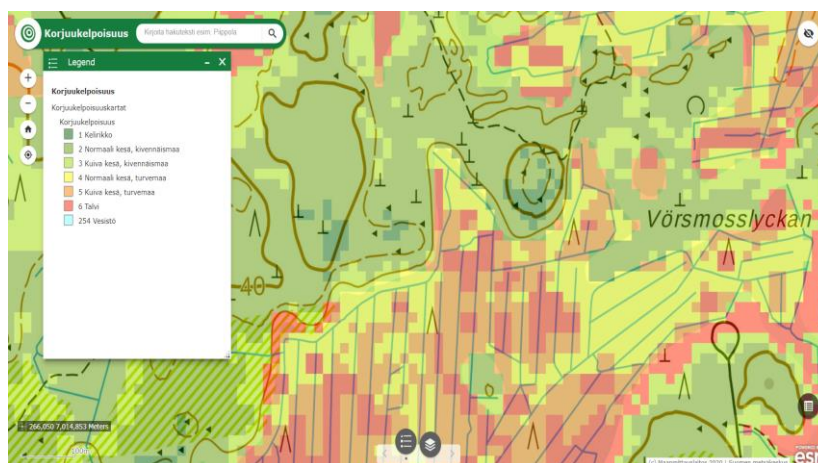
Suurten yhtenäisten myrskytuhoalueiden kartoittaminen samalla kuvauskerralla tuo merkittävän hyödyn ajankäytön kannalta. Tutkimuksen osalta tämä tulee esiin parhaiten kuviolla 3, jossa kuvatun alueen kokonaispinta-ala oli yhteensä 27,2 ha. Myrskytuhoalueen runkojen lukumäärän laskemisessa aikaa käytettiin huomattavasti vähemmän verrattuna siihen, kuin mitä maastotyöskentelynä sen kartoittamiseen aikaa käytettäisiin arvion mukaan. Tämän tutkimuksen perusteella paras hyöty saadaan suuremmilta myrskytuhoalueilta, mutta sitä on myös mahdollista hyödyntää pienempien alueiden kuvaamisessa. Käyttökohteita voisi olla esimerkiksi pienemmällä metsälötasolla, jolloin metsänomistajille saadaan tuotettua tietoa esimerkiksi siitä, löytyykö metsätilalta niin laajoja myrskytuhoja, jotta kuvioilla tulisi metsätuholaki voimaan.

Droonilla tehdyt kuvaukset antavat myös suuren edun siinä mielessä, että sen avulla tuotettuja ortokuvia on mahdollista tarkastella milloin tahansa, toisin kuin maastossa tapahtuvassa kartoituksessa, jolloin tarkastelua voidaan pitää kertaluontoisena, minkä jälkeen tarkastelu tapahtuu muistiinpanojen pohjalta. Droonilla on myös mahdollisuus päästä kuvaamaan alueita, joille myrskyn sattuessa voi olla vaikeuksia päästä. Laajempien myrskytuhojen sattuessa metsäteille kaatuneiden puiden raivaamiseen saattaa kulua kauankin aikaa. Droonilla tapahtuvalla ilmakuvauksella on mahdollista kuvata laajaa aluetta yhdellä lennolla, minne voisi muuten olla haastavaa päästä. Droonilla kuvaaminen ei kuitenkaan ole mahdollista vuoden ympäri, sillä kaatuneiden puiden päälle satanut lumi vaikeuttaa niiden tunnistamista. Toisaalta ajateltuna, jos puut kaatuvat lumen ollessa jo maassa, niiden tunnistaminen olisi mahdollisesti helpompaa lumen ja runkojen värillisestä kontrastista johtuen. Tutkimuksen kohteet sijaitsivat alueella, missä olivat tasaiset pinnanmuodot. Haasteita droonilla tapahtuvan kuvauksen käyttämisestä eri alueilla saattavat aiheuttaa suuret pinnanmuotojen vaihtelut maastossa kuten Vaara-Suomessa, jossa esiintyy pinnanmuotojen vaihteluja vaarojen esiintyvyyden takia.

Tutkimuksessa huomioitiin myös leimikon suunnittelun mahdollisuudet droonin ottamista kuvista. Myrskytuhoihin liittyen leimikon suunnittelua voitaisiin hyödyntää esimerkiksi miettiessä, onko myrskytuhoalue niin laajasti myrskyn vaurioittama, jolloin sille kannattaa kokonaisuudessaan tehdä päätehakkuu. Toinen vaihtoehto myrskytuhokohteella on harvennus, jolloin tervettä ja vahingoittumatonta pystypuuta tulee olla tarpeeksi. Droonin ottamien kuvien avulla on ainakin

mahdollista pystyvuoston määrän avulla arvioida, kannattaako myrskytuhoalueella toteuttaa harvennus vai päätehakkuu.

Muita yleisesti leimikon suunnittelun kannalta hyödyllisiä asioita tutkittiin myös dronin ottamista kuvista. Esimerkiksi kuvista tutkittiin mahdollisuutta hakkuukoneen ajourien suunnitteluun kuvien avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että kuvien avulla metsäkuvioilta yritettiin tunnistaa mahdollisia esteitä kuten kosteikkoja tai pehmeämpää maata. Näiltä kuvioilta otetuista kuvista ei löytynyt tällaisia ominaisuuksia, jotka voisivat vaikuttaa ajourien suunnitteluun. Erilaisten karttatasojen lisääminen ohjelmistoon voisi kuitenkin antaa erilaisia mahdollisuuksia suunnitteluun, kuten esimerkiksi korjuukelpoisuuskartta (kuva 17).



Kuva 17. Korjuukelpoisuuskartta (Metsäkeskus 2022).

Ortokuvista voidaan kuitenkin laajemmilta myrskytuhokohteilta paikantaa kaatuneiden runkojen sijainteja ja sen avulla miettiä optimaalisinta ajouraa niiden keräämiseen, mikäli kuviolta kerättäisiin esimerkiksi pelkästään kaatuneet rungot. Kuvauksen avulla saadaan myös käsitys myrskytuhojen laajuudesta.

Kuvantulkinnan avulla on mahdollista myös toteuttaa suunnittelua kustannusten osalta. Myrskytuhokohteiden osalta hakkuukoneen taksoja lasketaan kaatuneiden runkojen prosenttimäärän avulla (Taulukko 4).

Hakkuutaksa myrskytuholohkolla	
Tuulenkaatojen osuus (%)	Taksanousu (%)
100	50 %
90	45 %
80	40 %
70	35 %
60	30 %
50	25 %
40	20 %
30	15 %
20	10 %
15	8 %
10	5 %

Taulukko 4. Hakkukoneen taksanousu tuulenkaatojen osuuden mukaan (Metsäliitto Osuuskunta 2022).

Myrskytuhoalueelta otetuista dronikuvista pystyttiin laskemaan kaatuneiden runkojen määrä kohtuullisen hyvällä tarkkuudella. Kaatuneiden runkojen määrää voitaisiin verrata metsävaratiedosta saatavaan runkolukuun kuviolta, jolloin olisi mahdollista selvittää myrskyssä kaatuneiden runkojen osuutta kuvion kokonaispuuston osalta. Tällä tavalla pystytään myrskytuhokuvioiden hakkuissa ennakoimaan korkeampia kustannuksia.

Myrskytuhoalueella metsässä esiintyy enemmän työturvallisuusriskejä kuin tavanomaisessa tilanteessa metsäasiantuntijan kävellessä metsässä. Riskitekijöitä ovat esimerkiksi tuulenkaadoista aiheutuneet konkelot, sähkölinjoille kaatuneet puut sekä vaikeutunut maasto. Metsäasiantuntijan maastotyöskentelyn korvaaminen dronikuvauksella parantaisi työturvallisuutta näiden riskitekijöiden poistumisella.

Metsäkeskuksen tilastoista voidaan tarkastella, paljonko Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueella ilmoitetaan vuosittain myrskytuhoalueiden hakkuita metsänkäyttöilmoituksissa (kuviot 1, 2, 3, 4). Näiden tilastojen perusteella voidaan suuntaa antavasti arvioida, kuinka paljon metsäasiantuntijoiden maastotyöskentely voisi myrskytuhoalueilla vähentyä. Näihin tilastoihin viitaten maastotyöskentelyn korvaaminen dronilla tapahtuvalla ilmakuvauksella myrskytuhokuvioilla vähentäisi metsäasiantuntijan työturvallisuusriskejä.

Tähän opinnäytetyöhön verrattavia tutkimuksia oli vaikea löytää, joten verrattavuutta esimerkiksi maastotyöskentelyn ajanmenekkiin ei aiemmista tutkimuksista löytynyt. Aiheen ympäriltä löytyi kuitenkin jonkin verran siihen liittyviä tutkimuksia kuten opinnäytetyössä, jossa tutkittiin myrskytuhojen lentokartoitusta Kainuussa (Korhonen 2015). Tutkimuksessa todetaan pienlentokoneella tehtävän kartoituksen olevan kallista ja kyseisessä menetelmässä etukäteissuunnittelu on todella tärkeää. Tutkimuksesta ei tarkempia tuloksia määritelty, mutta todettiin lentokartoituksen olevan käytössä tulevaisuudessakin. Dronien mahdollista käyttöä spekuloiitiin jo tutkimuksen pohdinnassa ja sen arvioitiin säästävän metsäammattilaisen aikaa. Opinnäytetyö on tehty vuonna 2015, jonka jälkeen dronit ovatkin alkaneet yleistyä myös metsätalouden käytössä. Omassa opinnäytetyössäni yhtenä tutkimuskysymyksenä oli ajankäytön tehokkuus, jonka pystytään todistettavasti parantuvan dronikuvauksen avulla maastotyöhön verrattuna myrskytuhojen kartoituksessa.

Toisessa opinnäytetyössä tutkittiin dronin käyttöä laskeutusaltaiden kunnon arvioinnissa (Pyhälahti 2018). Tutkimus perustui samantapaisesti dronin tuottamaan kuva-aineiston tulkintaan samanlaisessa ohjelmistossa. Opinnäytetyössä todetaan, että dronilla tehtävän ilmakuvauksen tuottama aineisto ei sovellu laskeutusaltaiden kunnon määrittelemiseen, sillä esimerkiksi altaan täyttyneisyydestä ei saada varmoja vastauksia, mutta esimerkiksi tulo-ojien sekä purkuojien tarkistuksia on mahdollista tehdä dronin avulla. Tästä opinnäytetyöstä löytyy verrattavuuksia tähän tutkimukseen kuvantulkinnan osalta. Tarkempia mittauksia tästä aineistosta ei ole mahdollisuutta tehdä, mutta jo tällä tasolla saadaan dronikuvauksesta hyötyjä irti eri tavoin.

7.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta heikentää kuvantulkinnan tekeminen subjektiiviselta kannalta, eli mittauksien onnistuneisuus ja ajankäyttö ovat henkilökohtaisesta tasosta riippuvia. Tutkimuksessa ei ollut käytössä esimerkiksi minkäänlaista algoritmia, joka olisi automaattinen ja tuottaisi samanlaisia tuloksia jokaisella kerralla. Tämän takia tilastollisia menetelmiä ei analysoinnissa ole käytetty, mistä olisi mahdollista saada tietoa tuloksien luotettavuudesta. Luotettavuutta olisi voitu parantaa mittauksien osalta toteuttamalla niitä useaan kertaan eri

henkilöillä, jotta ajankäytöstä sekä mittauksien tarkkuuksista olisi saatu luotettavaa arviota. Nämä mittaukset ja niistä tehdyt päätelmät ovat opinnäytetyön laatijan henkilökohtaisia näkemyksiäni.

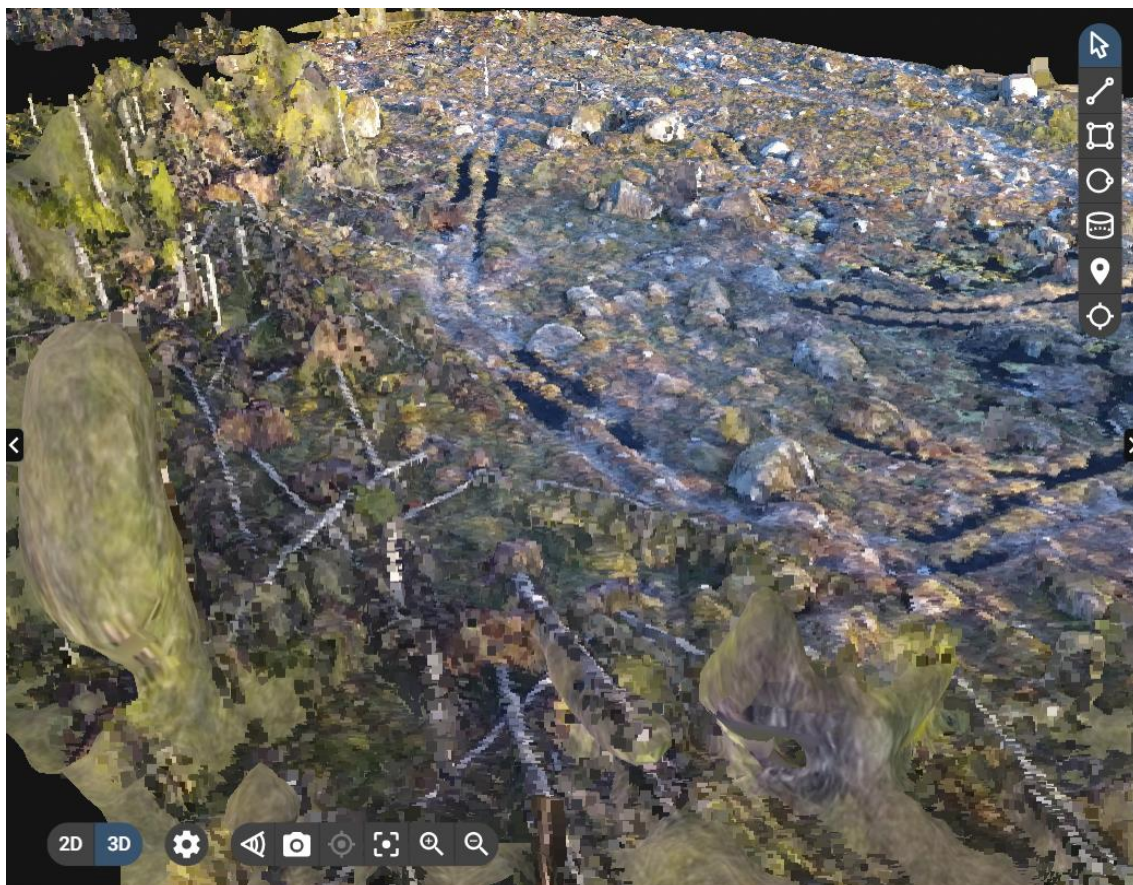
Mittauksissa luotettavuutta heikentäviä ulkopuolisia asioita olivat esimerkiksi heikkolaatuiset kuvat, kaatuneiden runkojen mittaamisen mahdottomuus niiden ollessa pystypuiden peitteessä tai kaatuneet rungot olivat pienellä alueella yhdessä kasassa, tällöin niiden mittaaminen tai laskeminen oli haastavaa. Kuvissa oli myös epätarkkuuksia, jotka saattoivat johtua esimerkiksi auringonvalon heijastuksen vaikutuksista (liite 4).

7.3 Jatkokehitystarpeet

Tutkimuksessa saatiin selville, että dronikuvauksen avulla kaatuneiden runkojen laskeminen myrskytuhoalueelta on ajankäytöllisesti tehokkaampaa kuin maastotyöskentely. Tehokkaammaksi koko prosessin tekisi ajankäytännöllisesti laskennan sekä mahdollisten mittauksien automatisointi. Jos tekoälylle olisi mahdollista opettaa poimimaan kaatuneiden runkojen laskeminen pystypuiden seasta edes määrällisesti, tekisi se jo prosessista huomattavasti tehokkaamman. Kaatuneiden runkojen automaattinen tilavuuksien laskenta tuskin olisi mahdollista, sillä erilaiset tekijät vaikeuttavat niiden laskemista käsinkin. Vaikeuksia tuottavat esimerkiksi tiheän puuston peitteisyys ja kuvauksen laadussa ilmenevät epätarkkuudet. Nämä saattaisivat vaikuttaa runkojen laskemiseen lukumäärällisesti.

Voidaan myös miettiä, olisiko tulevaisuudessa mahdollista tehdä dronikuvauksen avulla leimikon suunnittelua alusta loppuun asti. Tässä tutkimuksessa käytetyistä kuvista ei muita asioita leimikon suunnitteluun kannalta saatu selvitettyä kuin kaatuneiden puiden arvioitu kokonaiskuutiomäärä. Lisämahdollisuuksia leimikon suunnitteluun voisi saada esimerkiksi lisäämällä ohjelmistoon uusia erilaisia karttatasoja, jos se olisi mahdollista. Paremmalla kuvaustarkkuudella sekä fotogrammetrian avulla dronin ottamia kuvia pystyttäisiin yhä enemmän käyttämään leimikon suunnittelussa apuna. Jos tällä tavalla saataisiin pystypuustonkin määrää laskettua, olisi leimikon suunnittelu mahdollista jopa alusta loppuun asti.

PIX4Dcloudin avulla dronilla otetuista kuvista oli myös mahdollista tuottaa kolmiulotteista kuvaa (kuva 18). Tutkimuksen aineistoista tuotettu 3D-kuva ei vielä ole niin tarkkaa, että sitä voitaisiin tehokkaasti hyödyntää. Parempilaatuisen kuvauksen ja ohjelmiston kehittämisen avulla olisi varmasti kuitenkin mahdollista hyödyntää kolmiulotteisuutta eri tavoilla, kuten tekemällä erilaisia mittauksia fotogrammetrian avulla. Kehittämällä näitä asioita luotaisiin erilaisia mahdollisuuksia metsän tarkasteluun.



Kuva 18. 3D-Kuva PIX4Dcloudissa (Ekodrone 2022).

Runkojen laskemisen lisäksi voidaan miettiä myös muita myrskyjen vaikutuksia metsissä. Esimerkiksi on mahdollista, että puiden rungot taipuvat myrskyssä ilman, että ne kaatuvat. Tämänlaisessa tilanteessa runko ei ole mahdollisesti enää sahateollisuuden käytettävissä tukkipuuna. Jos tekoälyn olisi mahdollista tunnistaa kuvista myös taipuneet rungot, se lisäisi leimikon suunnittelun mahdollisuuksia entisestään ja antaisi laajempaa kuvaa myrskyvaurioista metsässä.

Lähteet

- A1 Media. 2022. <https://www.a1media.fi/osaamme/fotogrammetria>. 11.3.2022.
- Brown, J. 2017. DRONE USES: THE AWESOME BENEFITS OF DRONE TECHNOLOGY. Blogi. <https://www.mydronelab.com/blog/drone-uses.html>. 5.12.2021.
- Dronedari. 2021. Maa- ja metsätalouden tehtävät. <https://dronedari.fi/etusivu/palvelumme/maa-ja-metsatalouden-tehtavat/>. 25.11.2021.
- Droneinfo. 2021. <https://droneinfo.fi/fi/eun-dronesaannot>. 30.11.2021.
- Edrl. 2021. Erilaisia malleja droneista. <https://www.edrl.fi/dronet/>. 27.11.2021.
- Elenia. 20.11.2020. Helikopterit paikantavat valoisan aikaan sähköverkon vaurioita. <https://www.elenia.fi/uutiset/helikopterit-paikantavat-valoisan-ai-kaan-sahkoverkon-vaurioita>. 24.3.2022
- Elinkeino-, Liikenne- ja ympäristökeskus. 2013. Eino-myrskyn tuhot Etelä-Savossa. <https://urly.fi/2IUa>. 3.12.2021.
- Harjunen, M. 2021. DRONELLA HAVAITTUJEN AJOURAPAINUMIEN VALIDOINTI. Karelia-ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutus. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/356462/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6_Mikko%20Harjunen.pdf?sequence=2&isAllowed=y. 27.11.2021.
- Kangas A., Gobakken T., Puliti S., Hauglin M. & Naasset E. 26.1.2018. Metsätieteen aikakauskirja 2018. Laserkeilausaineiston ja fotogrammetrisen 3D aineiston arvo metsätalouden päätöksenteossa. <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/9952>. 24.3.2022.
- Kaihlanen, J, 2019. Aapeli kaatoi Pohjanmaalla metsää 30 000–50 000 kuutiometriä – myrsky runteli hiljattain harvennettuja männiköitä. 16.1.2019. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.362494>. 22.3.2022.
- Kaihlanen, J. 2020. Myrskytuhojen arviointiin kehitetään uutta menetelmää – tuulikarttoja ja metsävaratietoja yhdistämällä saataisiin nopeasti tiedot kaatuneista puumääristä. Maaseudun Tulevaisuus. 7.8.2020. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.1157292>. 1.12.2021.
- Kashyap, V. 2019. A Brief History of Drones: The Remote Controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>. 5.12.2021.
- Kokkonen, N. 2018. Myrskyvahinkoarvioinnit osaksi metsäpalveluyrittäjän palveluvalikoimaa. <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/08/kokkonen.pdf>. 5.12.2021.
- Korhonen, A. 2015. MYRSKYTUHOJEN LENTOKARTOITUS KAINUUSSA. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutus. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91937/Korhonen_Aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 24.3.2022.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 30.12.2011. Myrskyissä kaatui puita noin 120 miljoonan euron arvosta. <https://mmm.fi/-/myrskyissa-kaatui-puita-noin-120-miljoonan-euron-arvosta>. 22.3.2022.
- Metsäkeskus. 2020. Aila-myrsky kaatoi metsiä pääasiassa Pohjanlahden rannikkoalueelta. <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/aila-myrsky-kaatoi-metsia-paaasiassa-pohjanlahden-rannikkoalueelta>. 22.3.2022.

- Metsäkeskus. 2021a. Tuhot metsissä. <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsanhoito-ja-hakkuut/tuhot-metsissa>. 26.11.2021.
- Metsäkeskus. 2021b. Paula-myrsky teki Koillismaan metsiin miljoonavahingot. <https://www.metsakeskus.fi/fi/ajankohtaista/paula-myrsky-teki-koillismaan-metsiin-miljoonavahingot>. 3.12.2021.
- Metsälaki 1087/2013. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20131087>. 24.11.2021.
- Metsälaki 1168/2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20131087>. 26.4.2022.
- Metsälehti. 2021. Ruotsissa kehitetään droonia puunkorjuuseen – kone sopii ensiharvennuksille. <https://www.metsalehti.fi/uutiset/ruotsissa-kehitaan-droonia-puunkorjuuseen-kone-sopii-ensiharvennuksille/>. 29.11.2021.
- Metsäteho. 2015. Myrskytuhopuun hakkuun ajanmenekki ja tuottavuus. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2015_12_Myrskytuhopuun_hakkuun_ajanmenekki_ja_tuottavuus.pdf. 7.12.2021.
- Myrskyvaroitus. 2019. 2013 Eino ja Seija, Reima ja Oskari, "Elviira"-ukkosmyrsky. <https://myrskyvaroitus.com/index.php/myrskytieto/myrskyhistoria/37-2013>. 22.3.2022.
- Pulkkinen, S. 2020. KIRJANPAINAJATUHOJEN KARTOITUS MULTISPEKTRIKAMERALLA. Karelia-ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutus. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/306456/Kirjanpainajatuhojen%20kartoitus%20multispektrikameralla%20SP.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. 27.11.2021.
- Pyhälähti, P. 2018. Droonin käyttö metsänojituskohdeiden laskeutusaltaiden kunnan arvioinnissa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutus. Opinnäytetyö. <https://docplayer.fi/167534988-Droonin-kaytto-metsanojituskohdeiden-laskeutusaltaiden-kunnan-arvioinnissa.html>. 27.11.2021.
- Simula, J. 2018. Imatralaisyhtiön kehittämä lentorobotti valvoo metsäjätin tehdasta – ilman ihmisen ohjausta. Maaseudun Tulevaisuus. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/artikkeli-1.260925>. 6.12.2021.
- Sipola, T. 9.7. 2021. Kesäkuinen Paula-rajuilma kaatoi puita kuin tulitikkuja Pohjois-Suomessa – tuhoalueiden laajuus näkyy helikopterista käsin. 24.3.2022.
- Uusiteknologia.fi. 2019. <https://www.uusiteknologia.fi/2019/05/08/drone-on-tehokas-ja-tarkka-kuvaaja/>. 5.12.2021.
- Viiri, H., Viitanen, J., Mutanen A. & Leppänen, J. 2019. Metsätuhot vaikuttavat Euroopan puumarkkinoihin – Suomessa vaikutukset toistaiseksi vähäisiä. Metsätieteen aikakauskirja 2019. <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/10200>. 25.11.2021.

Mittauksien Excel-taulukot

Pituus (m)	Läpimitan säde (cm)	Tilavuus (m ³)	Keskitilavuus (m ³)
21	0.145	0.652	0.255
12.5	0.0925	0.158	
15	0.101	0.226	
11.5	0.1215	0.251	
6.9	0.0935	0.089	
13.3	0.085	0.142	
11.6	0.058	0.058	
16.1	0.1025	0.250	
20.8	0.125	0.480	
19.2	0.086	0.210	
21.6	0.1265	0.510	
19.6	0.1075	0.334	
18.5	0.136	0.505	
12.8	0.0975	0.180	
16.6	0.0595	0.087	
20.5	0.098	0.291	
10.8	0.0965	0.148	
10.8	0.098	0.153	
8	0.0615	0.045	
7.6	0.0685	0.053	
25.3	0.097	0.351	
17	0.0945	0.224	
9.8	0.0825	0.098	
16.9	0.0925	0.213	
18	0.136	0.491	
16.7	0.1345	0.446	

Taulukko 5. Kaatuneiden kuusten tilavuuksien laskemista kuviolta 1.

Pituus (m)	Läpimitan säde (cm)	Tilavuus (m ³)	Keskitilavuus (m ³)
5	0.0735	0.042	0.139
3.9	0.0725	0.032	
11.4	0.082	0.120	
8.5	0.07	0.065	
9	0.084	0.100	
7	0.085	0.079	
7.2	0.0775	0.068	
13.3	0.086	0.154	
11	0.147	0.373	
8.7	0.071	0.069	
10.6	0.0605	0.061	
12.8	0.069	0.096	
9.4	0.065	0.062	
7.7	0.0655	0.052	
19.5	0.124	0.471	
16.2	0.111	0.313	
12.5	0.103	0.208	

Taulukko 6. Kaatuneiden koivujen tilavuuksien laskemista kuviolta 1.

Pituus (m)	Läpimitan säde (cm)	Tilavuus (m ³)	Keskitilavuus (m ³)
12.1	0.106	0.201	0.208
9.6	0.111	0.175	
9.2	0.093	0.117	
5.4	0.086	0.059	
3.1	0.0755	0.026	
13.8	0.1325	0.358	
14	0.066	0.090	
10.1	0.104	0.161	
11.6	0.0905	0.140	
6.5	0.101	0.098	
7.5	0.1265	0.177	
5.7	0.093	0.073	
17.4	0.1155	0.343	
17.2	0.107	0.291	
15.7	0.1045	0.253	
4.7	0.152	0.160	
10.3	0.1285	0.251	
9	0.097	0.125	
11.8	0.123	0.263	
11.2	0.0725	0.087	
14.6	0.148	0.472	
3.6	0.095	0.048	
10.8	0.1135	0.205	
14.8	0.1205	0.317	
16.3	0.108	0.281	
9.5	0.1025	0.147	
17.6	0.101	0.265	

Taulukko 7. Kaatuneiden kuusien tilavuuksien laskemista kuviolta 2.

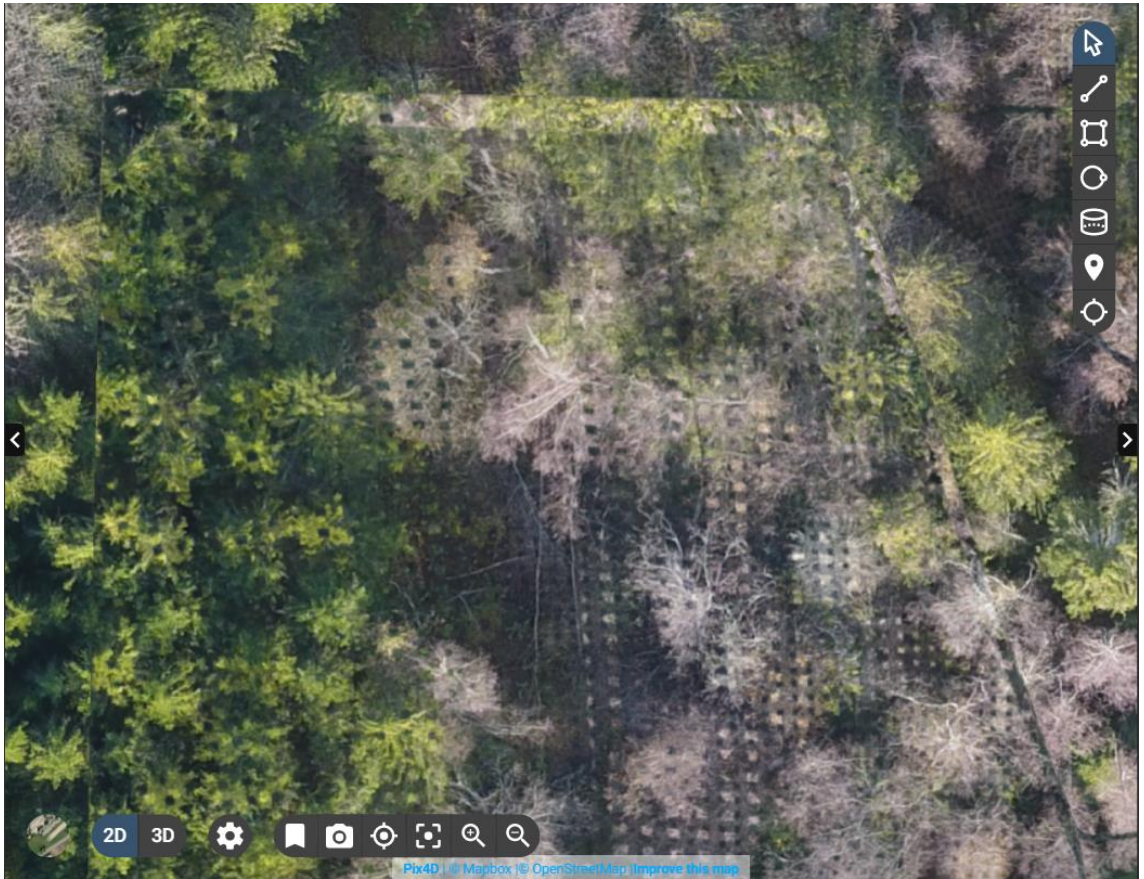
Pituus (m)	Läpimitan säde (cm)	Tilavuus (m ³)	Keskitilavuus (m ³)
12.9	0.0985	0.196	0.267
10.9	0.069	0.081	
6.5	0.119	0.145	
16.5	0.125	0.405	
6.2	0.107	0.111	
5.7	0.068	0.041	
8.4	0.116	0.177	
9.7	0.0925	0.130	
3	0.0955	0.043	
4.7	0.0825	0.050	
6.5	0.072	0.053	
5.9	0.087	0.070	
5.9	0.081	0.061	
7.6	0.0685	0.056	
9.8	0.077	0.091	
17.1	0.145	0.564	
25	0.205	1.649	
12.6	0.0855	0.145	
6.9	0.0685	0.051	
11.2	0.1925	0.652	
12.8	0.088	0.156	
16.2	0.0815	0.169	
22.1	0.1385	0.666	
18.6	0.1455	0.618	
14.7	0.11	0.279	
19.8	0.0935	0.272	

Taulukko 8. Kaatuneiden koivujen tilavuuksien laskemista kuviolta 2.

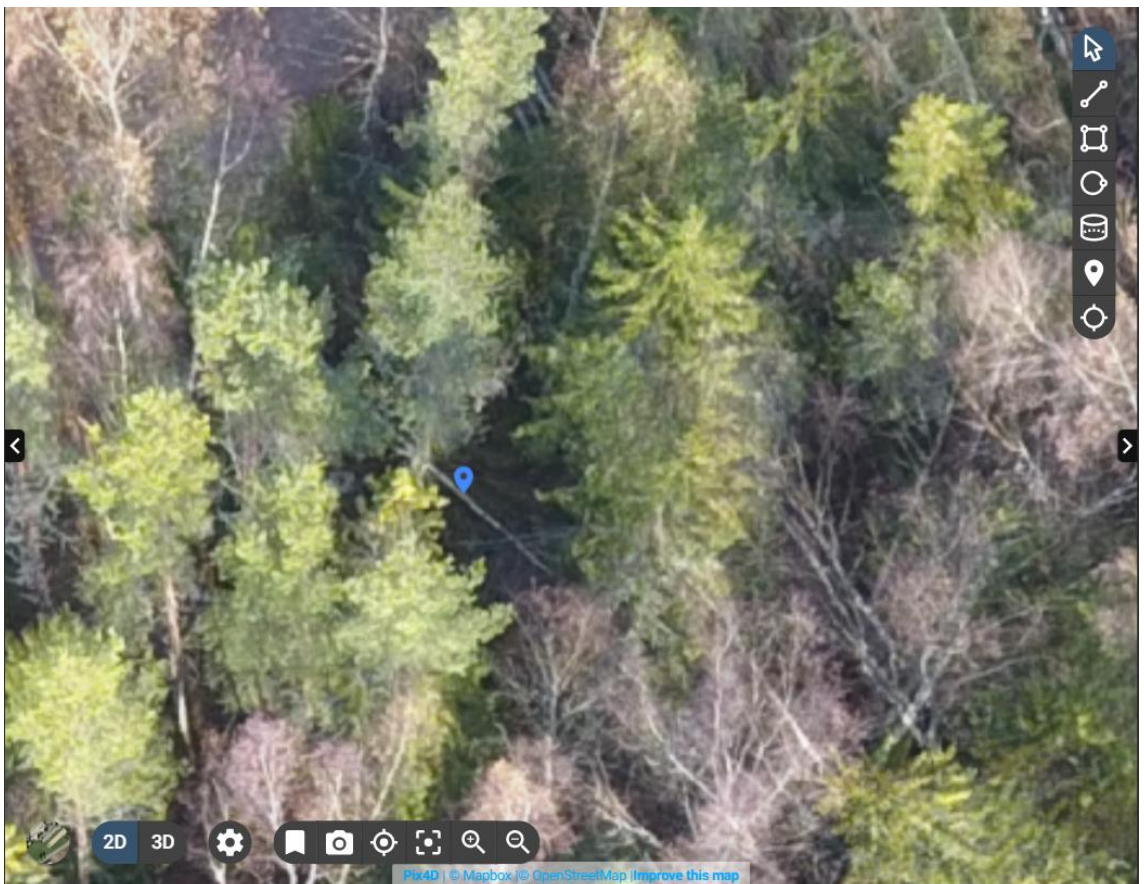
Pituus (m)	Läpimitan säde (cm)	Tilavuus (m ³)	Keskitilavuus (m ³)
15.3	0.107	0.259	0.274
19.2	0.126	0.450	
17.7	0.1315	0.452	
6.6	0.0955	0.089	
13	0.0795	0.121	

Taulukko 9. Kaatuneiden mäntyjen tilavuuksien laskemista kuviolta 2.

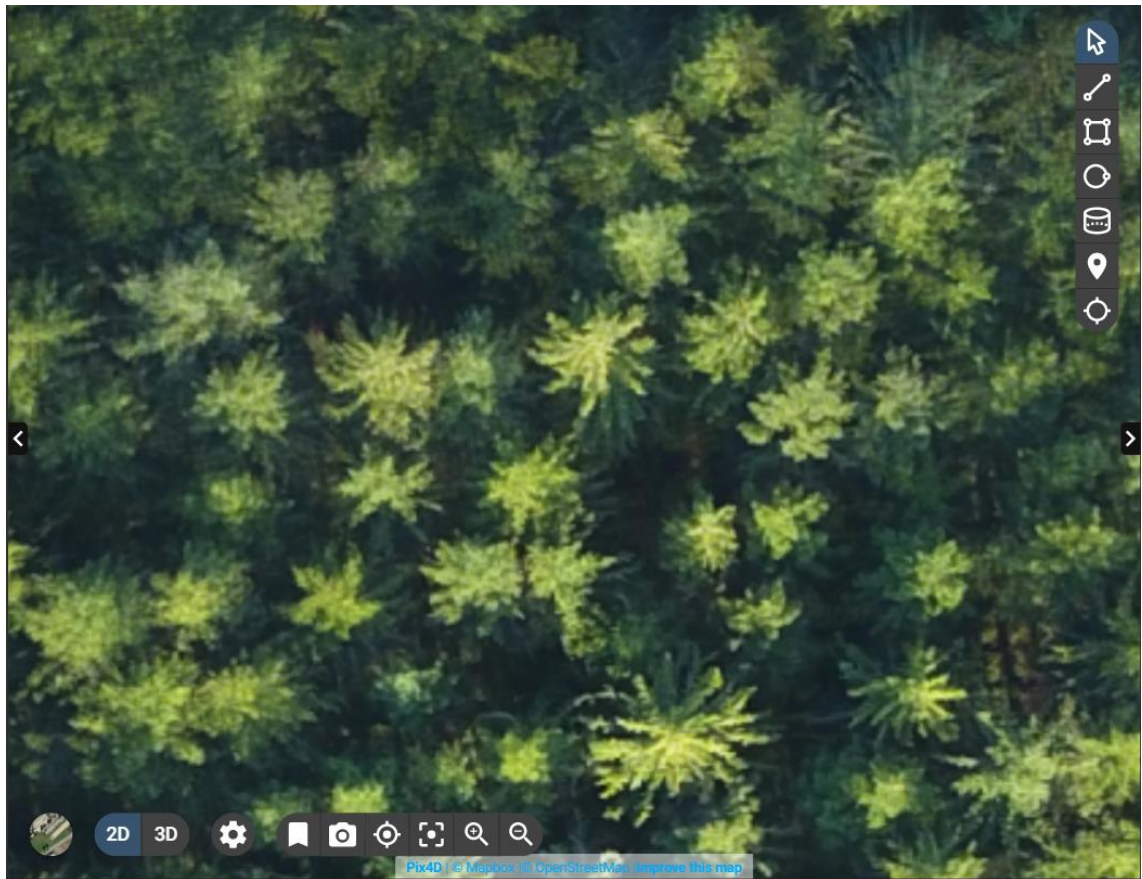
Mittauksia vaikeuttavat tekijät kuvissa



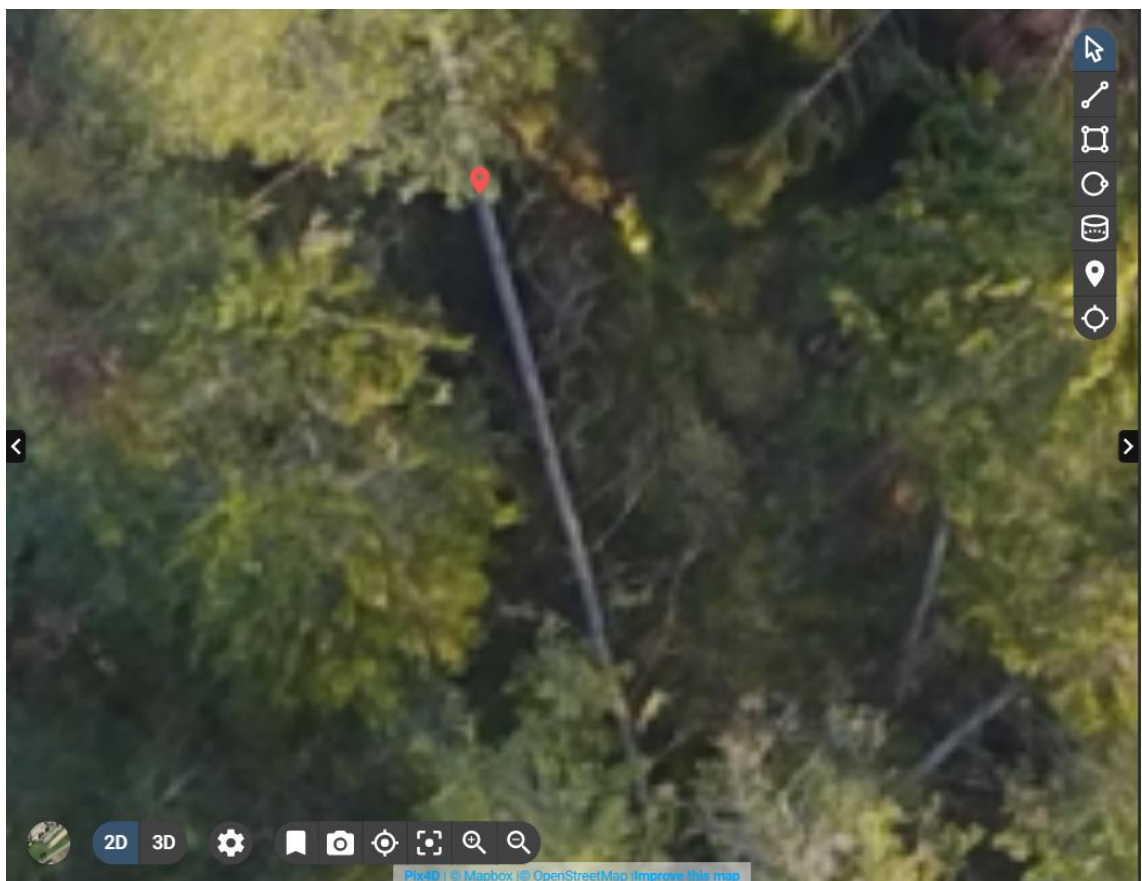
Kuva 19. Epäselyyksiä droonin ottamissa kuvissa (Ekodrone 2021).



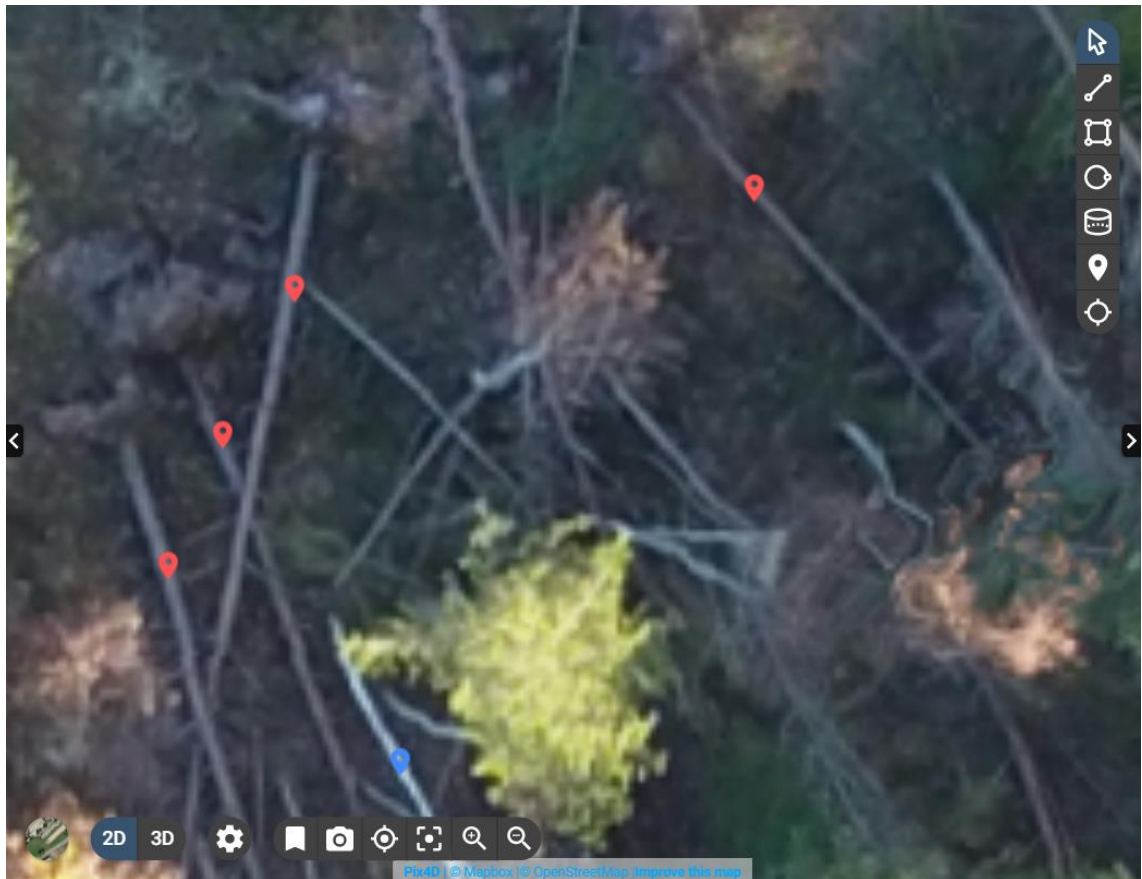
Kuva 20. Epäselyyksiä droonin ottamissa kuvissa (Ekodrone 2021).



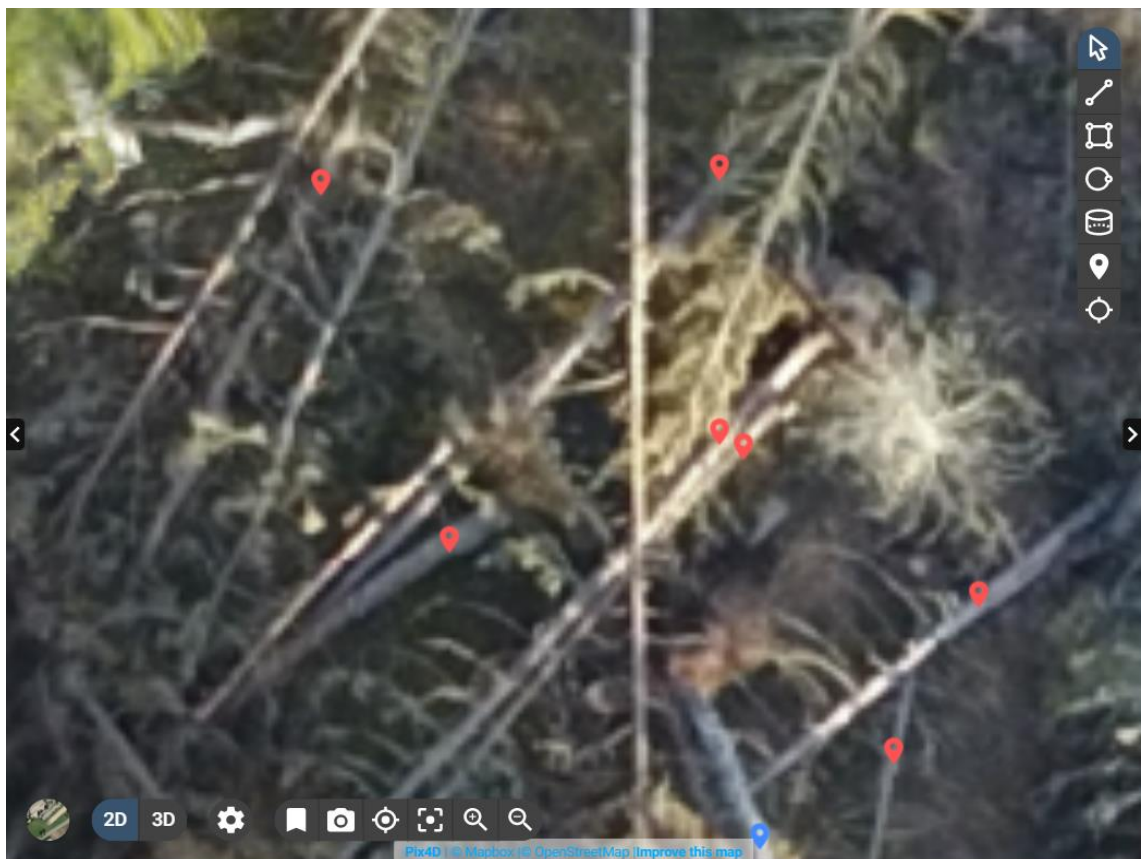
Kuva 21. Epäselvyyksiä droonin ottamissa kuvissa (Ekodrone 2021).



Kuva 22. Epäselvyyksiä droonin ottamissa kuvissa (Ekodrone 2021).



Kuva 23. Epäselyyksiä droonin ottamissa kuvissa (Ekodrone 2021).



Kuva 24. Epäselyyksiä droonin ottamissa kuvissa (Ekodrone 2021).