

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutus

Mikko Harjunen

DRONELLA HAVAITTUJEN AJOURAPAINUMIEN VALIDOINTI

Opinnäytetyö
Tammikuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2021
Metsätalouden koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä

Mikko Harjunen

Nimeke

Dronella havaittujen ajourapainumien validointi

Toimeksiantaja

Stora Enso

Opinnäytetyössä selvitettiin dronella havaitut ajourapainumat harvennuskohteilla ja niiden validointi. Tavoitteena oli selvittää mittaako drone ajourapainumat oikein ilmasta käsin ja mitkä häiriötekijät vaikuttivat mittaustuloksiin. Tuloksien osuvuutta ja eroja tarkasteltiin tilastollisesti.

Kohteita oli 3 kpl suurilla maastovaurioprosenteilla, jotka sijaitsivat Lappeenrannassa, Ruokolahdella ja Puumalassa. Kohteiden ilmakuville merkattiin koealasijainnit kiintopisteitä käyttäen. Mittaukset tehtiin ajourilla ristiviivalaseria hyödyntäen. Aineisto kerättiin maastolomakkeelle, josta se vietiin analysoitavaksi Exceliin sekä SPSS-ohjelmistoon. Dronen mittaama aineisto poimittiin CloudCompare pistepilviaineistosta. Aineistoja vertailtiin sekä ristiintaulukoitiin tulosten erojen selvittämiseksi. SPSS-ohjelmistossa käytettiin Wilcoxonin riippumatonta testiä.

Ruokolahti oli rehevydeltään karuin ja myös edustavin mittaustuloksissa kaikilla analysointimenetelmillä testattuna. Mittausten kohtaaminen desimetrin tarkkuudella oli parhain välillä 10 - 20 cm. Yli 10 cm onnistumisia analysoidessa mittaukset kohtasivat 82 %. Puumalan mittaustuloksissa kaikki häiriötekijät (ei aliskasvosta) tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä sekä 10 - 19,9 cm luokassa osuvuus oli paras. Yli 10 cm onnistumisia vertaillaessa mittaukset kohtasivat 84 %. Lappeenrannasta analysointi antoi saman merkitsevyytuloksen jokaisella aineistolla. Aineistossa ilman häiriötekijöitä selvisi, että paras mittausten osuvuus oli luokassa 0 - 9,9 cm. Luokassa 10 - 19,9 cm drone oli tuottanut usein aliarvion. Aineistossa häiriötekijät (ei aliskasvosta) paras osuvuus oli luokassa 10 - 19,9 cm. Tässäkin luokassa drone oli tuottanut usein aliarvion painaumasta. Yli 10 cm onnistumisia vertaillaessa mittaukset kohtasivat vain 31 % ja alle 10 cm onnistumisissa 52 %. Kohteiden rehevyys ja vaihtelevat pinnanmuodot vaikuttivat olennaisesti mittausten tarkkuuteen Lappeenrannassa ja Puumalassa. Dronen ja maastomittaustulosten eroavuudet voi olla selitettävissä koealan pienellä sijaintierolla.

Kieli

suomi

Sivuja 43

Liitteet 5

Liitesivumäärä 6

Asiasanat

droonit, ilmakuvaus, puunkorjuu, maaperä, ajourapainuma



THESIS
January 2021
Degree Programme in Forestry

Tikkarinne 9
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +350 13 260 600

Author(s)

Mikko Harjunen

Title

Detected Logging Road Brinelling by Drone And Its Validation

Commissioned by

Stora Enso

The target of this research was to detect logging road brinelling at thinning areas and to validate the brinelling. The aim was to find out if the measurements done by the drone were accurate, and which distractions influenced the measurement results. The relevance and differences of the results were examined statistically.

Three thinning sites with high terrain damage percentages were selected for the study they located in Lappeenranta, Ruokolahti and Puumala. Measurements were made on the tracks using a cross line laser. The data was collected on a field form, from which it was exported to excel for analysis and to the SPSS-software. Drone's depth measurement data was extracted from the CloudCompare point cloud data. The data were compared and cross-tabulated to determine the difference in the results. Wilcoxon independent test was used of analysis in SPSS software.

Ruokolahti was the most rugged in its lushness and according to the results, the most representative in the measurement results. Encountering measurements with an accuracy of a decimeter was the best between 10-20cm. When analyzing successes over 10 cm, the measurements encountered 82%. In the measurement results of Puumala, all disturbance factors (not from the lower face) were statistically significant and in the 10 - 19.9 cm class the accuracy was the best. When comparing successes of more than 10 cm, the measurements encountered 84%. The analysis from Lappeenranta gave the same significance result for each dataset. The data without interfering factors showed that the best accuracy of the measurements was in the class 0 - 9.9 cm. In class 10 to 19.9 cm, the drone had often produced an understatement. In the data, the best relevance of the distractions (not from the lower face) was in the class of 10 - 19.9 cm. In this class, too, the drone had often produced an underestimation of the depression. When comparing successes over 10 cm, the measurements encountered only 31% and for successes below 10 cm 52%. The lushness of the sites and the varying surface shapes significantly affected the accuracy of the measurements in Lappeenranta and Puumalassa. The differences between the drone and the field measurement results can be explained by the small location difference in the plot.

Language
Finnish

Pages 43
Appendices 5
Pages of Appendices 6

Keywordsⁱ

drone, aerial photography, timber harvesting, ground, logging road brinelling

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Harvennushakkuut Suomessa	6
2.1	Korjuumenetelmät.....	6
2.2	Korjuuketju.....	6
3	Työskentelymallit ja harvennustavat	8
4	Korjuujälki	11
4.1	Korjuujälki harvennuksella	11
4.2	Maaperän vaikutus	13
4.3	Mittaustavan kehitys	19
5	Dronen toimintatapa ja fotogrammetria.....	19
6	Tutkimuksen tavoite ja tarkoitus.....	21
7	Tutkimuksen toteuttaminen.....	22
7.1	Maastomittaukset.....	22
7.2	Aineiston analysointi.....	26
8	Tulokset ja niiden tulkinta.....	29
8.1	Kurensillansuo maasto - ja dronemittausten osuvuus.....	29
8.2	Saunalamminsuo maasto – ja dronemittausten osuvuus.....	31
8.3	Vesijärven maasto- ja dronemittausten osuvuus	34
9	Pohdinta.....	37
9.1	Tulosten tarkastelu	37
9.2	Tutkimuksen luotettavuus	38
9.3	Jatkokehitystarpeet.....	40
	Lähteet.....	42

Liitteet

Liite 1	Maastolomake
Liite 2	Mittausvälineet
Liite 3	Saunalamminsuon urapainumahavainto
Liite 4	Vesijärvi koeala 6
Liite 5	CloudCompare -koealan havainnollistaminen ja mittaus
Liite 6	Kohteiden painauma - arvojen keskiarvot ja hajonta
Liite 7	Kohteiden drone -ja maastomittausten alle 10 cm:n ja yli 10 cm:n kohtaamisten onnistumisprosentit

1 Johdanto

Vuosittain metsien kasvu Suomessa ylittää hakkuiden ja luonnonpoistuman määrän. Runkopuun hakkuukertymä vuodelle 2019 oli noin 73 miljoonaa m³. Nykytilanteessa metsien kasvu on noin 108 miljoonaa m³. Runsaan kasvun mahdollistaa aktiivinen metsänhoito ja puustopääoman kasvu. (Metsäteollisuus 2020.) Osa kestävästä metsänhoitosta ovat hyvin ajoitetut harvennushakkuut. Hakkuussa metsikön kasvua parannetaan keskittämällä metsän tuotoskyky terveisiin ja hyvälaatuisiin puuyksilöihin. (Metsäteho 2003, 6.)

Vuonna 2017 koneellisen puutavaran valmistuksen osuus hakkuista oli lähes 100 % (Metsäteho 2017). Koneellisessa hakkuussa metsässä työskentelee hakkuukone, joka kaataa, karsii ja katkoo runkopuun haluttuihin mittoihin mittamalla samalla rungon tilavuuden. Hakkuukoneen liikkuaessa työpisteiden välillä järjestelmällisesti syntyy ajoura. Kun metsä on harvennettu, siellä vallitsee järjestelmällinen ajouraverkosto, jota pitkin metsätraktori kuljettajaa puutavaran tienvarsivarastolle kaukokuljetuksen saataville ja asiakkaalle toimitettavaksi. (forest.fi 2020.)

Kasvatushakkuiden rooli suomalaisessa metsätaloudessa on suuri. Vuonna 2019 hakkuuajokomuksia metsänkäyttöilmoitusten muodossa kasvatushakkuiden osalta oli tehty 558 552 ha: lle. (Metsäkeskus 2019.) Ensiharvennukselle järjestelmällisesti tehtyä ajouraverkostoa hyödynnetään myöhemmissäkin harvennuksissa. Asiallisesti tehdystä verkostosta muodostuu ajouria noin 500 metriä hehtaarelle. Hakkuunalaisesta kuviosta eli leimikosta ajouraverkoston osuus on viidennes. (Ovaskainen 2012a.)

Kasvatushakkuun yksi osa-alue on korjuujälki. Käsitteenä se jaetaan harvennusvoimakkuuteen, puuvalintaan, puustovaurioihin, ajouraväliin ja ajouraleveyteen sekä ajourapainumiin. Painumat uralla aiheuttavat vaurioita puun runkoon ja juuristoon sekä mahdollistaa sekundääristen tuhonaiheuttajien iskeytymisen kasvavaan puustoon. Tällaisia ovat esimerkiksi juurikäpää ja lahottajat. (Kokko & Sirén 1996, 7.)

Tämä tutkimus on jatkoa Jimi Rajajärven valmistuneeseen maisteritutkimukseen (Rajajärvi 2020). Tutkimuksessa keskitytään ajourapainauumiin. Tarkoituksena on selvittää, saadaanko drone-kalustolla luotettavia tuloksia harvennushakkuiden ajourapainaumista. Tutkimuksen lähtökohtana on kerätä tietoa ajourapainaumista maastomittauksin ja verrata tietoa drone-mittauksiin. Tavoitteena on kehittää korjuujäljen mittausta siten, että sen voisi hoitaa vain drone-mittauksella ilmasta käsin.

2 Harvennushakkuut Suomessa

2.1 Korjuumenetelmät

CTL-tavaralajimenetelmä tunnetaan pohjoismaisena puunkorjuumenetelmänä ja on myös käytetyin menetelmä Suomessa. Menetelmässä rungot katkotaan ainespuuksi heti kaadon jälkeen käyttötarkoituksen mukaan. Ainespuuta menee yleisesti saha-, vaneri- ja selluteollisuuteen sekä bioenergiaksi. Katkottu tavara määrättyä asiakkaan tarpeen mukaan. CTL-menetelmässä hakkuutähde karsiutuu rungosta ajouran pohjaa tukevaksi kerrokseksi. Menetelmä perustuu työmaalla hakkuukoneen sekä metsätraktorin käyttöön. (Ponsse 2020, 2–4.)

2.2 Korjuuketju

Hakkuukone on ”metsäkone, joka kaataa, karsii ja katkoo puut metsässä haluttuun mittaan (kuva 1). Samalla kone mittaa katkottujen runkopuiden tilavuuden. Hakkuukoneesta käytetään myös nimityksiä monitoimikone, moto, harvesteri.” (Metsäteho Oy 2012.) Moton rakenteellinen pituus harvennuskäyttöön vaihtelee 6,50 m - 7,93 m välillä. Painoa koneella on ilman lisävarustelua 15 200 kg–22 900 kg ja leveyttä 2 600 mm–2 750 mm. Koneen puomin työskentelyulottuma on 8 -11,7 m. Puomin kärjessä sijaitsee hakkuupää, jolla kaadetaan ja prosessoidaan runko ainespuuksi. Hakkuupään paino ilman rotaattoria ja riipuketta on 735 - 1 330 kg. (John Deere 2020.)



Kuva 1. Hakkuukone (John Deere Oy 2020).

Puutavaran lähikuljetukseen suunnitellut metsätraktorit on rakennettu 6– tai - 8 pyöräiselle alustalle (kuva 2). Painoa harvennuksille suunnitelluilla koneilla on 14 700 - 18 080 kg. Puutavaran kuljetuskantavuutta 9000 kg-13000 kg. Kuormatilan pinta-ala vaihtelee 3,5 - 5,1 m²:n välillä. Kuormaimen ulottuma on 7,2 - 10 m. Minimileveys koneella 2 700 mm. Koneen leveyteen vaikuttaa olennaisesti lisävarustelu kantavilla teloilla. (John Deere 2020.)



Kuva 2. Metsätraktori. (John Deere Oy 2020).

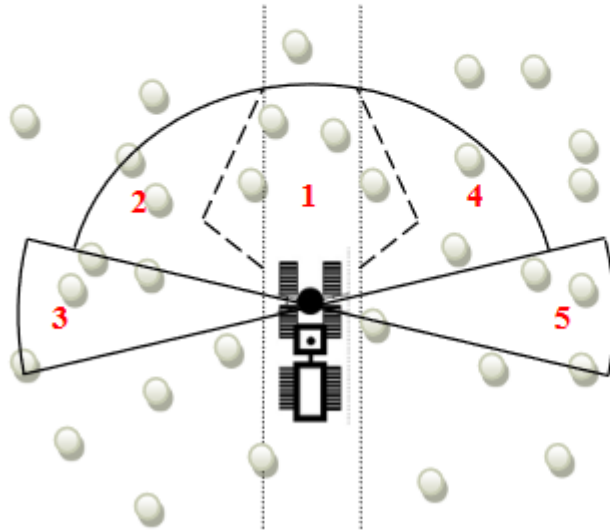
Metsäkoneessa maaperään kohdistuvaa painetta voidaan säätää koneen pyörien määrällä sekä koneen alustan teliakseliin pituusvalinnalla. Ponsella konemalleja löytyy kuusipyöräisestä kymppipyöräiseen. Kone on mahdollista varustella normaalilla telillä 1500 mm ja pitkällä telillä 1890 mm. Telin pituus määritellään napojen etäisyydestä toisiinsa. Maksimi telaleveys konemallikohtaisesti 890 - 1196 mm. Näillä valinnoilla parannetaan koneketjun kantavuutta. (Ponsse 2018, 1–10.)

Pehmeiden maiden puunkorjuuseen on kehitetty telamalli, joka tuo lisäkantavuutta metsäkoneelle. Telan kantavuus perustuu leveämpiin tasaisiin telakkeisiin sekä kenkien pieneen väliin. Tämä menetelmä kohdistaa matalamman pintapaineen maaperään. Telojen rakentamiseen on hyödynnetty kaivinkoneen alustan telamallia. Lisäksi telamalliston veto- ja sivuttaispito varmistetaan hitsaamalla pitonastat telojen ulkopuolelle. (Koneosapalvelu 2020.)

3 Työskentelymallit ja harvennustavat

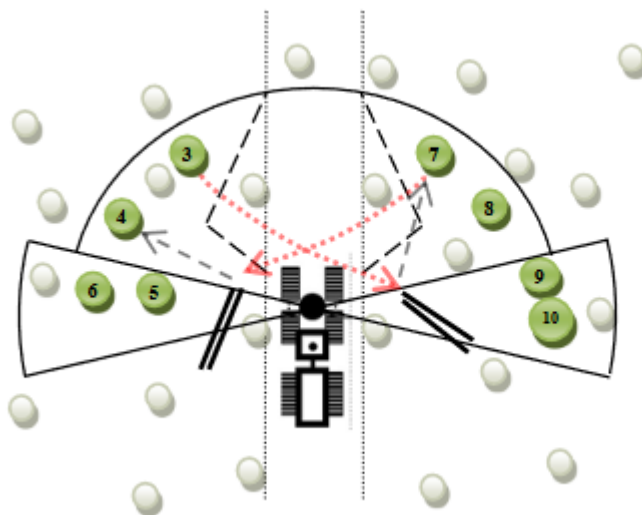
Sektorityömallia kutsutaan harvennushakkuiden perustyömalliksi. Se on soveltuvaltaan paras ensiharvennuksille sekä runsaspuustoisille tasarakenteisille leimikoille. Hyviä käyttökokemuksia on myös integroidussa korjuussa. Menetelmä perustuu sektoreihin eli työpiste jaetaan 5 sektoriin (kuva 3). Näistä muodostuu noin 220 asteen alue hakkuukoneen eteen. Perusrunkona menetelmälle on, että ajouraa avattaessa ja etusektoreilla työskenneltäessä maksimi toiminta- etäisyys on 8 m. Sivusektoreilla työskennellään koko puomin ulottumalla. Yli 6 metrissä olevat poistettavat puut prosessoidaan puomin alle. Tämä tuo esille menetelmän heikkouden pehmeillä mailla. Puomin alle prosessoidessa osa hakkuutähteistä jää pois ajouralta ja vaikuttaa siten ajouran kantavuuteen. (Ovaskainen 2012b, 9–11.)

1. ajoura ja uran varsi
2. vasen etusektori
3. vasen sivusektori
4. oikea etusektori
5. oikea sivusektori



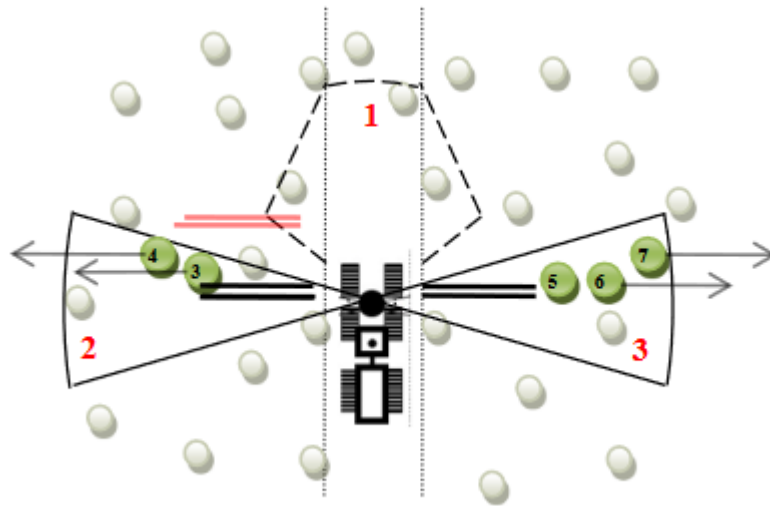
Kuva 3. Sektorityömalli. (Ovaskainen 2012b).

Tiheisiin metsiin on kehitelty sovellettu sektorimalli, koska todella tiheissä metsissä puun kaataminen on hankalaa. Puun kaadon helpottamiseksi runko vedetään kaatotilanteessa uran yli ja prosessoinnista syntynyt hakkuutähde tulee ajouralle (kuva 4). (Ovaskainen 2012b, 12.)



Kuva 4. Sovellettu sektorimalli. (Ovaskainen 2012b).

Sivullepäin kaato työmalli on perinteinen harvennustyömalli (kuva 5). Se on optimaalinen pehmeille maille, koska valtaosa hakkuutähteistä tulee ajouralle. ”Menetelmä perustuu puiden kaatoon kohtisuoraan ajouraan nähden ja pois päin ajourasta joko vasemmalle tai oikealle”, jotta saavutetaan optimaalinen ajouraväli sivusektoreilla työskennellään koko puomin ulottumalla. (Ovaskainen 2012b, 12–14.)



Kuva 5. Sivullepäin kaato työmalli. (Ovaskainen 2012b).

Ensiharvennus tehdään yleensä, kun puiden pituus on saavuttanut 10 - 16 metriä. Harvennuskypsyyteen vaikuttaa kasvupaikkatyyppi sekä puulaji. Toimenpiteessä runkojen kokonaistilavuudesta valitaan huonolaatuisimmat, joita on noin kolmasosa puustosta. Lähtevästä pienemmästä puusta valmistetaan yleensä ohutläpimittaista ainespuuta teollisuuden tarpeisiin. (Metsäkeskus 2020.) Kun puiden kasvatustiheys optimoidaan toimenpiteessä, sen lisäksi ensiharvennuksessa avataan ajouraverkosto alueelle, jota hyödynnetään myös myöhemmissä harvennuksissa. (Ovaskainen 2012b.)

Harvennustarpeen määrittämisessä otetaan huomioon kasvatusolosuhteet sekä puulajit. Harvennustoimenpiteitä suoritetaan metsässä 1 - 4 kertaa ennen avohakkuuta. Hyvänä ohjesääntönä ensiharvennuksen jälkeisiin harvennuksiin ajoi-

tuksellisesti on, että toimenpiteet tehdään siten, ettei puuston latvus ja kasvukyky kärsi. Toinen harvennus on 10 - 20 vuotta ensiharvennuksesta. Harvennusmenetelmiä on 3 erilaista. Laatuharvennusta suositetaan männikön kasvatuksessa. Jäävä puusto on laadultaan parasta. (Metsäteho 2012.)

Alaharvennuksessa puuston kasvatustiheyttä säädetään poistamalla puita metsän alimmasta kerroksesta. Poistettaviin puihin lukeutuu heikkolaatuiset, valtapituutta lyhyemmät puut. (Metsäteho 2012). Yläharvennusta hakkuutapana suositetaan laadultaan hyvissä kuusikoissa sekä männiköissä. Se suoritetaan monesti ennen päätehakkuuvaihetta. Poistettaviksi puiksi valitaan metsän järeimpiä runkoja, sillä mahdollisestaan seuraavassa latvuserroksessa olevien puiden kasvaminen tukkijäreyteen. Tämä hakkuutapa tuo metsänomistajalle enemmän tuloja jo harvennushakkuusta. (Skyttä 2019.)

4 Korjuujälki

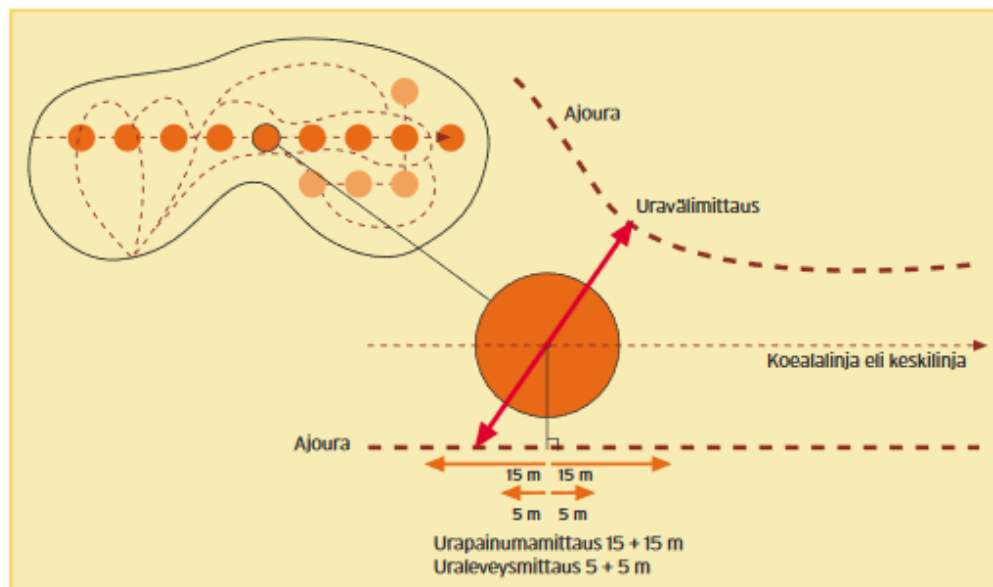
4.1 Korjuujälki harvennuksella

Korjuujälkeä on tutkittu Metsäntutkimuslaitoksen, Metsätehon, Työtehoseuran sekä Metsähallituksen kehittämisjaostossa. Valvontaa on suorittanut Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio vuodesta 1990. (Sirén 1998, 20.) Korjuujäljellä havainnollistetaan harvennusmetsän tilaa puunkorjuun jälkeen. Korjuujälki muodostuu monen tekijän summasta; jäävän puuston määrästä, niihin syntyneistä vaurioista. Onko jäävän puuston valinta tehty suositellusti sekä onko ajouraväli ja leveys pysynyt standardissa. (Sirén 1998, 13.)

Päämääränä metsäkeskuksen korjuujälkiseurannalla on metsänkäyttöilmoitusten ja hakkuiden lainmukaisuuden valvonta. Kattavalla valvonnalla varmistetaan korjuujäljen laatu. Tietoa ja kehitystä seurataan valtakunnallisesti sekä alueellisesti. Korjuujäljen inventointimenetelmänä käytetään usein Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion kehittämää tarkastusmenetelmää, jonka myös maa – ja metsätalousministeriö on hyväksynyt. Toteutuneiden harvennushakkuiden

määrä vuosittain vaikuttaa otoksen kokoon sekä tarkastettavien kohteiden määrään. Mahdollisuuksien mukaan mittauksia siirretään todennettavaksi seuraavalle vuodelle ja tarkastetaan sitten niiden sijasta satunnaisotannalla vanhempia metsänkayttöilmoituksia. (Metsäteho 2003, 30–31.)

”Mittaus aloitetaan määrittämällä mitattavan alueen pisimmän halkaisijan muodostama keskilinja (kuva 6). Ensimmäinen koeala sijoitetaan puolen koealavälin päähän keskilinjän lähtöpisteestä. Koealoja tulee keskilinjalle noin 10 kpl” (Metsäteho 2003.) Jos ei saada varmuutta metsälain tai metsänhoitosuositusten asettamien vaatimusten toteutumisesta, koealamittauksia jatketaan. Tässä tapauksessa linjalta arvotaan koeala, jonka kautta sijoitetaan toinen koealalinja kohtisuoraan ensimmäistä linjaa vasten. Tällä linjalla arvotaan myös koeala, jonka kautta vedetään ensimmäisen koealalinjan suuntainen koealalinja. (Metsäteho 2003, 30.)



Kuva 6. Mittapisteiden sijoittaminen korjuujälkitunnusten määrittämiseen leimikolta. (Metsäteho 2003).

Mittauskohteella puustosta määritetään pohjapinta-ala, runkoluku ja poistuma. Rungoista tutkitaan mahdolliset vauriot, jotka jaetaan juuristo sekä runkovaurioihin. Runkovauriot mitataan juuren niskasta ylöspäin. Juuristovauriot määrite-

tään kaatosahauskohdasta alaspäin. Lisäksi juurivauriot luetaan maanpäällisistä juurista max. 100 cm etäisyydellä rungosta. Lopussa mitataan koealan paksuimman puun pituus (=koealan valtapituus). (Sirén 1998, 13–16.)

Ajouraväliä tarkastellaan silloin, kun harvennuksella on tehty kokonaan tai osittain uusi uraverkosto. Runkoluvun täytyy olla alueella yli 600 runkoa/ha. Ajourat syntyvät hakkuukoneen edetessä harvennushakkuilla. Päämääränä uraverkoston suunnittelussa on puutavaran lähikuljetusmatkan minimoiminen. Ajouravälin tulee olla vähintään 20 m. Kivennäismailla raja-arvot ovat leveydessä 4,0 - 4,5 m ja turvemilla 4,0 - 5,0 m. Mittausmenetelmänä uran leveydessä käytetään työpisteeltä 5 m matka molempiin suuntiin. Uran molemmilta puolilta valitaan lähimmät puut. Näistä puista mitataan rinnankorkeudelta etäisyys uran keskikohtaan. Lukujen summana saadaan uran leveys. (Metsäteho 2012a.)

Uraverkosto suunnitellaan siten, että pääväylä sijoitetaan kovalle maalle. Pääväylä sitoo yhteen muut urat ja toimii kokoojaurana välivarastolle. Moton harventaessa metsää, se tekee harvennuslenkkejä pääväylältä, joita kutsutaan keruu-uriksi. Täydentäviä uramalleja käytetään harvennuslaadun varmistamiseksi hankalimmilla kohteilla. Näistä esimerkkeinä ovat pisto- sekä peruutusurat. (Metsäteho 2012a.)

4.2 Maaperän vaikutus

Metsämaa luokitellaan karkeisiin, keskikarkeisiin ja hienoihin maalajeihin (Taulukko 1). Maalajin raakoostumuksella on vaikutusta metsäpohjan ilmapuuteen, kantavuuteen ja ravinteiden pidätyskykyyn. (Joensuu, Kauppila, Lindén & Tenhola 2012, 8).

Taulukko 1. Kivennäismaalajin tunnistamiseen ohjaavat ominaisuudet. (Joensuu, Kauppila, Lindén & Tenhola, 2012).

Karkea	Sora, hiekka, soramoreeni	Raekoko helppo arvioida silmävaraisesti.	Läpäisevät helposti vettä. Karuja maita.
Keski-karkea	Karkea hieta ja hiekkamoreeni	Yksittäiset rakeet nähtävissä paljain silmin, rakeet irrallisia.	Vesitalous yleensä kunnossa. Metsänkasvatuksen kannalta parhaita maita.
Hieno	Hieno hieta, hiesu, hienoainemoreeni	Yksittäisiä rakeita ei erota paljain silmin. Kosteana pyöritettävissä 2 - 6 mm paksu pötkö. Kuivana hajoaa pöliseväksi jauhoksi.	Läpäisee heikosti vettä, märkänä juoksevaa, erittäin routivaa, kovettuu kuivuuksaan.
	Savi	Kosteana pyöritettävissä alle 2 mm paksu pötkö. Ei hajoa täydellisesti kuivana.	Vesi liikkuu hyvin hitaasti, märkänä sitkeää, tiivistä ja kovettuu ja halkeilee kuivuuksaan.

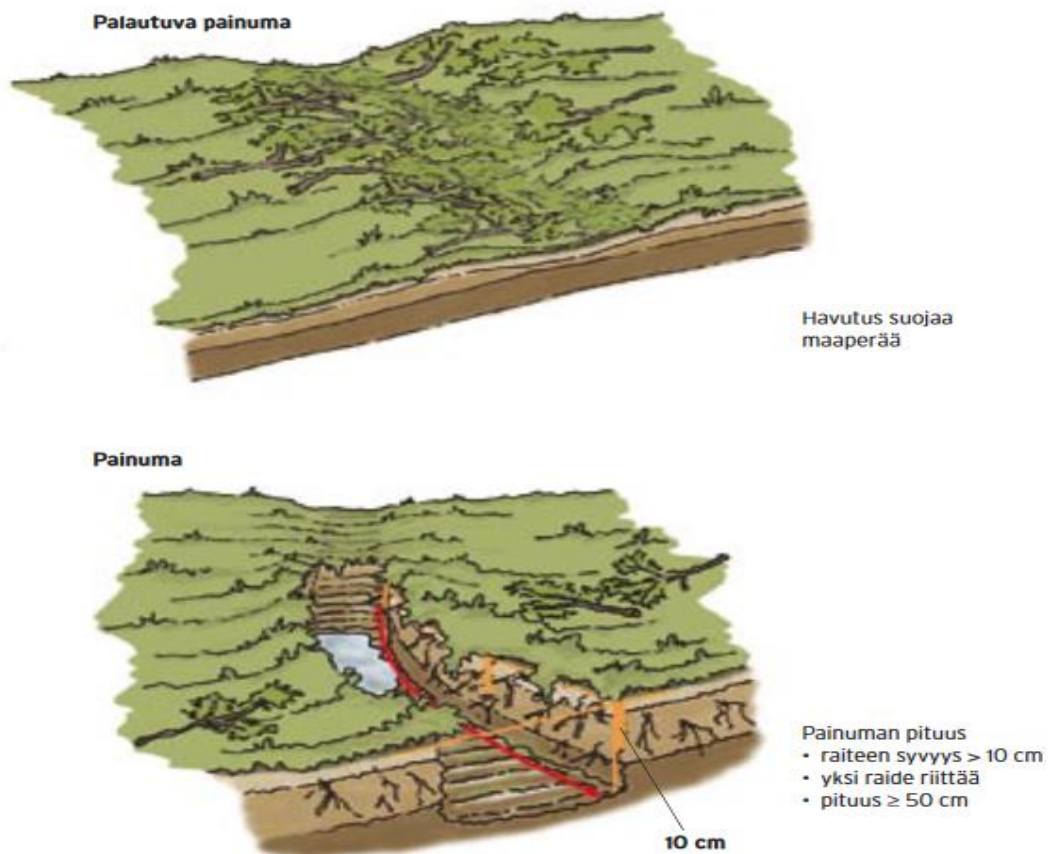
Kasvupaikkatyyppejä ovat lehdot, kangasmetsät ja turvemaat. Lehdon maa-aines on ruskomaannosta. Rakenne koostuu mullasta, jonka sekaan kivennäismaata on sekoittunut. Kangasmetsien maannos on podsolimaannos, jossa on usein helppo erottaa vaaleanharmaa huuhtoutumiskerros ja sen alla punaruskea rikastumiskerros. Kivennäismaan pinnalla on kerros kangashumusta. (Metla 2013.)

Metsätaloudessa merkittävin vesistökuormittaja on maanmuokkaus, ja lisäkuormitusta voi aiheuttaa väärään aikaan tai huolimattomasti toteutettu puunkorjuu, joka lisää ajourapainumariskiä. Hienot maalajit ovat vesien suojelun kannalta haastavimpia. Ajourapainauksen syntyessä hieno maa-aines syöpyy veden mukana ja pahimmassa tilanteessa päätyy vesistöön. Tämä saa aikaan fosforikuormitusta vesistöissä. Turvemaiden maaperän syöpyminen ajourapainauksesta aiheuttaa humuksen liukenemisen vesistöön. Humus tuottaa vesistöissä typpi-kuormitusta sekä hapantumista ja vaarallisia aineita. Nämä kaksi pääravinnetta aiheuttaa vesistöissä rehevöitymistä. (TASO-hankkeen ohjausryhmä 2012, 14–17.)

Puunkorjuun vaikutusta maaperään tutkittiin Norjan kaakkoisosassa vuonna 2017. Menetelmä perustui 6 avohakkuukohteeseen, joissa puutavaran korjuumenetelmä oli CTL-tavaralajimenetelmä. Tutkimus suoritettiin käyttämällä

dronea kuvantamisessa. Kohteet valittiin vain erilaisten olosuhdetietojen perusteella. Kohteille oli tehty avohakkuu 3 kuukautta sitten. Kuvamateriaalista tuotettiin korkearesoluutioinen ortomosaiikki, jota analysoitiin eri menetelmin. Tuotoksena saadaan kartta, josta ilmenee ajourapainuman määrä syvyysluokittain. (Talbot, Rahlf & Astrup 2017, 387–390.)

Urapainumat muodostuvat yli 10 cm:n syvyydestä leikkaantumasta maanpinnan tasosta. Lähtötasoon mittauksessa vaikuttaa maalaji sekä kivennäismaan pinnan tai sammalkerroksen alareuna (turvemaat). Huomioitavaa on myös, että palautuvaa painumaa ei tulkita urapainumaksi (kuva 7). Edellytyksenä urapainuman toteamiselle on pintakerroksen leikkaantuminen. Alle 50 cm:n pituisia kuoppia ei lasketa urapainumaksi. Urien kokonaispituudesta 4 % sallitaan painumia. (Metsäteho 2005, 64.)



Kuva 7. Ylemmässä kuvassa palautuva painuma, jossa maanpinta ei ole rikkoutunut. Ei tulkita urapainumaksi. Alemmassa kuvassa urapainuma, joka täyttää urapainuman kriteerit, kun syvyys on maanpinnasta yli 10 cm (Metsäteho 2003).

Suometsien puunkorjuu tehdään yleensä talvella, koska maaperä ei kannata ajokoneita muulloin. Sama tilanne on myös kivennäismailla kuusen kasvualustoilla. Kuusi viihtyy hienojakoisella ravinteikkaalla maaperällä. (Remes 2014.) Kuusi kasvaa hyvin tuoreilla kankailla ja sitä ravinteikkaammilla kasvupaikkatyypeillä. Tuoretta kangasta kuivemmilla kasvupaikoilla kasvaa yleensä mänty. Kuivemmat kankaat ovat myös karkeampaa maa-ainesta, joten niissä ei synny ajourapainauksia niin herkästi. (Metsäverkko 2020.)

Turvemaa aiheuttaa haasteita puunkorjuussa yleisesti heikolla kantavuudellaan. Turvemaapohjat ovat useimmiten ojitettuja sekä kuitupuuvaltaisia ja yleistä on epäsäännöllinen puuston jakautuminen. Ojien varsilla kasvaa kookkain puusto ja välissä voi olla vain kitukasvuista puustoa tai jopa täysin puuvapaata aluetta. Metsäkuljetusmatkan ollessa yli 200 m puunkorjuu suoritetaan talvikaudella (taulukko 2). Ajouraverkoston rasiudesta ajatellen suometsien puunkorjuun varaspaikat tulisi sijoittaa hajautetusti. Ympärivuotisen puunkorjuun voi mahdollistaa yli 100 m³/ha kertymä. Suolla tulee myös huomioida, että kasvavan metsän juuristo on pinnemmassa ja se on jakaantunut laajemmin kuin kivennäismailla. Kasvavan puuston määrä vaikuttaa olennaisesti pohjaveden pinnan tasoon. Runsaampi puusto haihduttaa enemmän vettä. Lisäksi hakkuutähdettä muodostuu enemmän tiheämmästä metsästä, mikä parantaa kantavuutta. Nämä tekijät vaikuttavat olennaisesti, syntykö ajourapainauksia vai ei. (Metsäkeskus 2014, 2–3.)

Taulukko 2. Maastokuljetusmatkan ja kokonaispuuston vaikutus korjuukelpoisuuteen (Högnäs, Kumpare & Kärhä 2011).

Korjattavan kuvion kokonaispuusto, m ³ /ha	Korjuukohteen varastojärjestelyjen muodon ja koon perusteella arvioitu kuormitus ajouraverkostolle *)		
	Pieni	Kohtalainen	Suuri
	Kantavuusluokka **)		
>170	1	2	3
170 - 120	2	3	TALVI
<120	3	TALVI	TALVI
Korjaukset korjuukelpoisuusluokkiin:			
Pohjaveden syvyys: •Kohteissa, joissa pohjavesi on alle 25cm:n syvyydellä suon pinnasta, käytetään yhtä luokkaa heikompaa kantavuutta. •Jos korjuuta on edeltänyt yli 4 viikkoa kestänyt kuiva kausi, suunnittelu-tietojen kantavuus paranee toteutuksessa yhdellä luokalla.			
Turpeen paksuus: Kohteella, jossa turvekerroksen paksuus on alle 75 cm, kantavuus paranee yhdellä luokalla.			
*) Suuntaa-antava keskimääräinen maastokuljetusmatka turvemaalla: pieni <100 m, kohtalainen 100-200 m ja suuri 200 m. **) Edellytetään, että hakkuutähteet hakataan ajouralle ja pienialaiset ja ajouraverkoston kriittiset kohdat vahvistetaan hakkuutähteillä tai muulla tavalla.			

Turvemaalla työskenneltäessä suositellaan hakkuukoneeseen suovarustusta. Näin vältetään pintarikkoumat suossa ennen puunajovaihetta. Työmallina hakatessa suositellaan sivulle kaatomenetelmää, jolloin havut tulevat ajouralle kantavaksi materiaaliksi. "Ajourista tulee tehdä mahdollisimman suorat ja leveät, erityisesti on varottava s-mutkien tekoa. Ajourilla ei ajeta samaa jälkeä koko ajan". (Metsäkeskus 2014, 5.) Urille jäävät kannot tulee olla lyhyitä. Ojan ylityksissä ja urien vahvistuksessa hyödynnetään sahattua kuitupuuta. Tilanteen salliessa suometsän puunkorjuu voidaan toteuttaa kaksi osaisena. Hakkuu suoritetaan esim. myöhään syksyllä, samalla suunnitellaan myös talvi/piennartiet ja lähikuljetus suoritetaan talvella maan ollessa jäässä. (Metsäkeskus 2014, 4–5.)

Ympärivuotisen puunkorjuun mahdollistamiseksi Stora Enso on kehittänyt Rätmetod-menetelmän. Uusi menetelmä perustuu ajourien tarkempaan suunnitteluun. Työmaa aloitetaan suunnittelemalla pääajoura leimikolle ennen hakkuuta. Hakkuun aloituksessa pääajouralle sijoitetaan mahdollisimman paljon maape-rää tukevaa hakkuutähdettä. Harvennus toteutetaan käyttämällä pisto- sekä haamu-uria. Työmallissa hakkuukone käyttää haamu-uria ja prosessoi puut

pehmeiltä alueilta pistourien sekä pääajouran varrelle. Ajokoneen työskentely-alue on vain pistourat sekä kantava pääaura. Tämä vähentää ajokoneen liikkumista vaativissa olosuhteissa. Menetelmä kasvattaa hakkuukoneen työmäärää ajokoneen hyväksi, mutta lisää vaativien leimikoiden saavutettavuutta ympäri vuoden. (Kjellberg, 2018.)

Työnaikaista laadunseurantaa tehdään Metsätehon On - line menetelmällä. UPM METSÄ on yksi menetelmän käyttäjistä (Anttila 2019). Tarkastuksen runko perustuu 8 metrin levyiseen ajouran suuntaiseen näytekaistaan. Näytekaisoja sijoitetaan leimikolle 2 kpl. Keskenäisellä työmaalla yksi näytekaisa sijoitetaan korjatulle ja yksi hakkuuvaiheessa olevalle alueelle. Kaistalta havainnoidaan pystypuut ja vauriupuut, jotka ovat sijainniltaan korkeintaan 4 m:n etäisyydellä ajouran keskilinjasta. Ajouran leveys ja jäävän puuston tiheyden mittauskohdat perustuvat lukupuiden järjestysnumeroon. Kaistan pituus päättyy 50. lukupuuhun. Kaista tarkastetaan myös vastakkaiseen suuntaan kävellen, jolloin merkataan urapainumat ja mahdolliset muut vauriot. 2. kaista mitataan samalla tavalla. Kaistoilta kertyy yhteensä 100 kpl lukupuita ja yhteispituus kaistoilla noin 200 - 300 m, tämä riippuu toki puuston tiheydestä. (Metsäteho 2003, 27–28.)

Ajouravälimittaus tehdään kaistojen välillä siirryttäessä. Mittaus alkaa ajouran keskeltä ja poikittaista linjaa kulkien suhteessa ajouraverkoston pääsuuntaan, josta lasketaan kohdattujen ajourien lukumäärä. Harvennetun alueen laitimmaiselle ajouralle saavuttaessa kirjataan ylös ajouravälien lukumäärä sekä kuljettu matka. Jäävän puuston määrää verrataan työohjeen harvennussuositukseen. Menetelmässä voidaan myös selvittää, onko puunkorjuu kohteella oikea-aikainen. Jos ajourapainaumia havainnoidaan, tarkistetaan havainnot kaistakohtaisista mittauksista, saaden tietoa syntykö vauriot jo hakkuuvaiheessa. (Metsäteho 2003, 28.)

Puunkorjuun alueellisia vaikutuksia maaperään on tutkittu aiemminkin ulkomailla. Menetelmänä käytettiin systemaattista maasto-otantaa. Maastomittaukset on toteutettu ihmistyönä, mikä ei ole kustannustehokasta. Yleisesti korjuumenetelmänä on ollut kokorunkomenetelmä. CTL tavaralajimenetelmän

kansainvälistyessä tutkimuskenttää tulee laajentaa. Tavaralajimenetelmässä hakkuutähteestä syntyy kantavaa kerrosta ajouralle, kun puolestaan kokorunkomenetelmässä rungot karsitaan varastolla. (Talbot, Rahlf & Astrup 2017, 387.)

4.3 Mittaustavan kehitys

Metsäkeskus käyttää nykyään korjuujäljen mittauksessa maastotyöskentelyn lisäksi dronea. Dronella kuvatusa tiedosta muodostetaan keskitunnukset, joiden lisäksi alueelta mitataan maastotyönä korjuuvauriot, urapainaumat sekä puuston poistuma. Tarkastusmenetelmä on sama niin eri ikäisrakenteisessa kuin tasaikäisrakenteisessa metsässä. Tarkastuskohteina on nuoret ja varttuneemat kasvatusmetsät. Metsälain edellyttämä valvonta tehdään määrävälisenä satunnaisotantana metsikkökuviolla. Edellytyksenä luotettavalle mittaustulokselle on normaali ajouraverkosto sekä kuvion 1 ha:n vähimmäiskoko (Metsäkeskus 2020.)

5 Dronen toimintatapa ja fotogrammetria

Kauko-ohjattavia miehittämättömiä ilma-aluksia kutsutaan droneiksi. Dronet ovat alunperin rakennettu sotilaallisiin käyttötarkoituksiin. Vuodesta 1930 alkaen Yhdysvaltain laivasto alkoi kokeilla radio-ohjattavia lentokoneita. Viime vuosikymmenissä dronet ovat kokeneet merkittäviä edistysaskeleita sekä kasvua. Ne ovat kehittyneet paljon sekä tehneet läpimurron kuluttajakäyttötarkoituksiin. Läpimurtoa on mahdollistanut hintatason laskeminen kuluttajaystävälliseksi. (Kashyap 2020.)

Sotilaallisessa tarkoituksessa ne toimivat kauko-ohjattuina ilmaohjusten lähettäjinä. Kuluttajien käytössä ne ovat puolestaan valokuvaamisessa, etsintä- ja palautustoiminnoissa sekä tavaroiden kuljetuspalveluissa ja lisäksi luonnonolojen muutoksen seurannassa. Yleisimpiä malleista ovat nelipotkurinen ja kahdeksan

potkurinen. Dronen käyttömahdollisuus perustuu kauko-ohjaukseen tai täysin itsenäiseen lento-ohjelmoituun toimintaan. (Kashyap 2020.)

Tulevaisuudessa drone-lennokkien ja satelliittien avulla kerätään yleisimmin tietoa metsästä. Lennokin keräämästä tiedosta erottuvat yksittäiset puut ja ajourapainauumat. Syntyvä tieto on digitaalista. Saatavaa tietoa pystytään hyödyntämään rahoitus- ja metsälain valvonnassa sekä metsätöiden valvonnassa. Harvennetussa metsässä dronella saadaan kattava numeerinen tieto urien painaumista, tiheydestä sekä leveydestä. Lennokki tulkitsee myös jäävän puuston yksittäisen puun tarkkuudella. Dronen käyttö mittausvälineenä kehittyy jatkuvasti. Metsäkeskus valvoo Suomen metsien käyttöä sekä kuntoa. Tähän päivään asti tarkastustyö on perustunut metsäasiantuntijoiden tekemään arviointiin. Tarkastusten digitalisointi vähentää sekä nopeuttaa maastotöiden osuutta. (Metsäkeskus 2019.)

Drone-kaluston käyttö perustuu tiheään kuvamäärään ilmasta käsin otettuna. Kuvista muodostuu fotogrammetrinen pistepilvi. Menetelmänä se omaa alhaiset kustannukset. Mittaustarkkuus perustuu x- ja y- akselin antamaan senttimetrien tarkkaan tietoon ajouraväleistä sekä z-akseli mahdollistaa syvimpien ajourapainumien sijainnit. Saatavaa aineistoa voidaan hyödyntää visuaalisessa tarkastelussa korjuuyrittäjän sekä metsänomistajan kanssa sekä numeerisesti. Rajajärven (2020) tutkimus toimii myös pioneeritutkimuksena fotogrammetrisen pistepilven kuvauksessa, tuottamisessa sekä käsittelyssä. (Rajajärvi 2020, 7–8.)

Fotogrammetria yleisesti tarkoittaa kohteen kuvausta siten, että kuvissa esiintyviä elementtejä voidaan mitata kolmiulotteisesti. Pääsääntöisesti nykyaikana käytetään digitaalisia kuvia. Käsittelytapoja on puoliautomaattinen ja automaattinen menetelmä. Yleisin fotogrammetrisista sovelluksista on ilmakuvauus, jota hyödynnetään paljon kartoituksen tietolähteenä. Se perustuu kattavaan kuvamäärään kohteesta, eli jokainen maastonkohta on löydettävissä vähintään kahdelta kuvalta. Kuvien kuvasuhteiden selvittyä toisiinsa ja myös maastoon verraten on mahdollista määrittää kohteen sijainti kuvista kolmiulotteisesti. Ilmakuvia

hyödynnetään topografiseen kartoitukseen sekä maastomallimittauksissa tie-suunnittelua varten. Ilmakuva­fotogrammetrian luotettavuutta ja tehokkuutta perustellaan korkealaatuisella kalibroidulla laitteistolla sekä lisäksi tarkalla prosessoinnilla. Skannauksen tarkkuuteen vaikuttavat kuvien laatu, kuvakulmat, kuvapeiton kattavuus, vastinpisteiden sijainti ja merkitsemistarkkuus, kuvaaja, kamera, lentolaite, sää, kuvauskohde ja korkeus. (Ullakko 2015, 56–63.)

Ajourapainaumien maastomittauksessa on hyödynnetty myös lähifotogrammetriaa, jolla saadaan muodostettua korkean resoluution kolmiulotteinen värillinen pistepilvi pyörän urien yksityiskohtaiseen analysointiin. (Pierzchata, Talbot & Astrup 2016, 385.)

6 Tutkimuksen tavoite ja tarkoitus

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää dronen kuvaamaan ajourapainumadatan oikeellisuus harvennushakkuilla. Onko mahdollista tehdä puunkorjuun jälkeistä laadun mittausta ilmasta käsin niin luotettavasti kuin maastossa mittauksia tehdessä? Vaikuttaako maaston rehevyys tai puulaji ilmakuvausten laatuun? Pystyykö muodostuvasta pistepilvidatasta tulkitsemaan painumadatan samalla tavalla kuin maastosta kerätystä aineistosta? Tarkoituksena on todentaa dronen mittaamien ajourapainumatietojen paikkansa pitävyys. Tutkimuksessa todennetaan, toimiiko dronemenetelmä vai ei. Ja jos ei, niin miksi ei toimi.

Tutkimuskysymykset:

1. Kuinka puuston latvusto vaikuttaa urapainumatietojen tarkkuuteen ilmakuvauksessa?
2. Kuinka luotettava Dronen gps-tieto on mittausmenetelmässä?
3. Millä tavalla drone-ajourapainumamittauksen tiedot eroavat maastossa mitatuista ajourapainuman mittaustuloksista?

7 Tutkimuksen toteuttaminen

7.1 Maastomittaukset

Kohteet tutkimuksessa olivat ensiharvennus ja harvennuskohteita (taulukko 3). Tarkasteltavaksi aineistoksi tähän tutkimukseen valittiin 14 kohteen kokonaisuudesta alat, joissa maastovaurioprosentit olivat suurimmat (Rajajärvi 2020, 29). Painumakartat oli laadittu tutkimuksessa ”Ajouratunnusten tarkastelu fotogrammetriselta pistepilveltä” (Rajajärvi 2020). Painumaluokkien rajat ovat 10+ cm, 20+ cm ja 30+ cm. On muistettava, että dronen 3D-malli mittaa kasvillisuuden pintaa. Kuvat ovat dronen gps-tarkkuudella ilman gps-maastotukipisteitä. (Alajärvi & Poikela 2020.)

Taulukko 3. Mittauskohteiden yleistiedot ja metsäkeskuksen hyväksymällä korjuujäljen arviointimenetelmällä toteutettu inventointi (Rajajärvi, 2020).

Alue	Kurensillansuo	Saunalamminsuo	Vesijärvi
Kohde	4	5	8
Sijainti	Lappeenranta	Ruokolahti	Puumala
Hakkuutapa	Harvennus	Ensiharvennus	Harvennus
Korjuukelpoisuus	Kesä	Kesä	Kesä
Hakkuu(pvm.)	2.4.2019	3.5.2019	20.5.2019
Mittaus(pvm.)	19.9.2019	10.9.2019	11.9.2019
Mittaaja	Eero	Eero	Eero
Pinta-ala (ha)	1,5	2,24	3,2
Kasvupaikkatyyppi	OMT	MT	VT
Pääpuulaji	Mänty	Kuusi	Mänty
Maastovaurio %	26,7	11	12
Ajouraleveys (m)	5,5	5,7	5,5
Ajouraväli (m)	20	21,9	18,2
Pohjapinta-ala	18,1	9,5	14,6
Valtapituus (m)	19,6	10,9	15,3
Puustovaurio (%)	2,5	8,1	9,8
Suosittelun mukainen	Lainmukainen	Virheellinen	

Kolme maastomittauskohdetta sijaitsevat Lappeenrannassa (kuva 8), Ruokolahdella (kuva 9) ja Puumalassa (kuva 10). Jokaiseen tutkimuskohteeseen käytettiin ajallisesti yksi päivä.

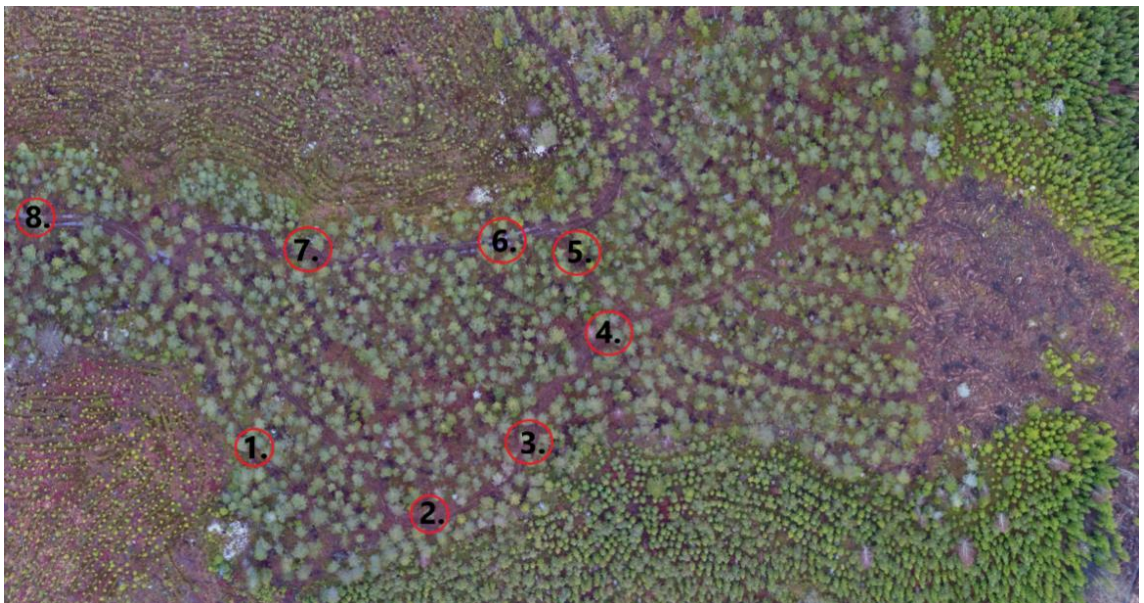
Tutkimuksen toteutuksessa maastomittauskoealat sidottiin kiintopisteisiin, koska dronen gps-tiedon oikeellisuudesta ei ole varmuutta. Kiintopisteinä käytettiin dronen ortokuvista (tiff-formaatti) paikallistettuja: puita, kiviä, latvuksia ja ajouristeyksiä. Vasemman ja oikean raiteen sijainti kohteilla määritettiin pohjois-eteläsuunnassa kuviota kartalta katsottaessa.



Kuva 8. Kurensillansuo koealat numeroituna (Rajajärvi 2020).



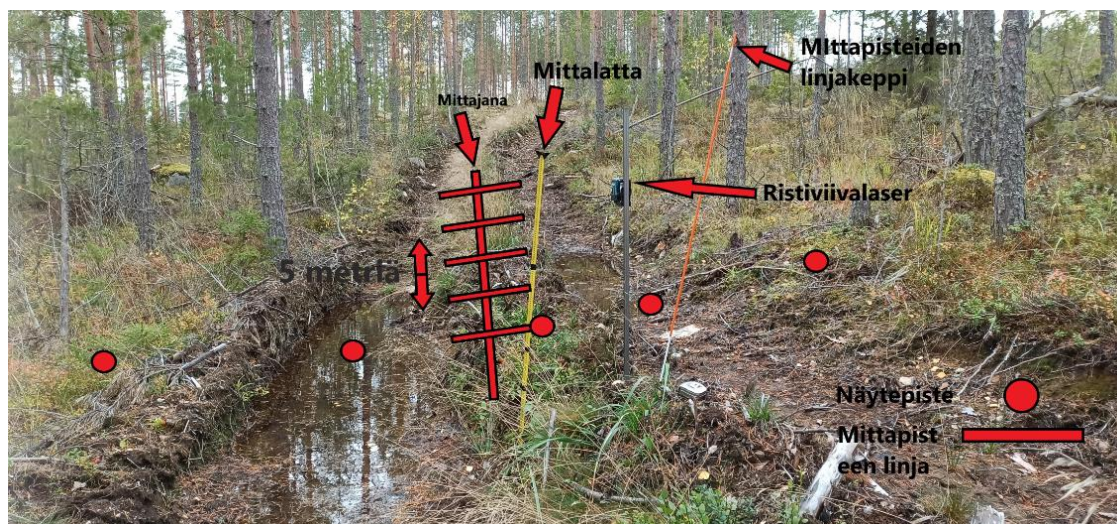
Kuva 9. Saunalamminsuo koealat numeroituna (Rajajärvi, 2020).



Kuva 10. Vesijärvi koealat numeroituna (Rajajärvi, 2020).

Ajourien risteysvaikutus minimoitiin sijoittamalla koeala vähintään 10 metriä risteyksestä poispäin, koska risteyskohdissa on yleensä runsaimmin painaumaa

kuin kokonaisuraverkostossa. Koealapisteeltä määritettiin mittalinja 5 metriä suuntaansa. Ristiviivalaser sijoitettiin kiintopisteen määrittämään koealakeskipisteen sijaintiin. Ensimmäinen mittapiste sijaitsee 0,5 m ristiviivalaserista ajouran suuntaisesti ja seuraavat mittapisteet tulevat 1 m:n välein. Koealalla on yhteensä 5 kpl mittapisteitä suuntaansa (kuva 11). Mittapisteiden paikka raiteissa havaittiin silmämääräisesti raiteen keskikohdasta.



Kuva 11. Koealan mittaustapa havainnollistettuna (Kuva: Mikko Harjunen).

Uran vasemman puolen maantasosta otettiin mittapiste. Vasemman raiteen pohjasta otettiin syvyysmitta. Raiteiden väliseltä maanpinnan tasolta otettiin mittapiste. Oikea raiteen pohjalta otettiin syvyysmitta. Uran oikealta puolelta maantasosta otettiin mittapiste. Työvälineenä oli ristiviivalaser. Laser sijoitettiin uran keskilinjalle. Laserin nollapinta asetettiin hyvään mittakorkeuteen, josta katsottiin mittakepillä maanpinnan taso uralla. Näistä mittatiedoista muodostui painuman syvyystieto. Mittapinta haettiin mittakepillä 0,5 metriä raiteesta poispäin. Mittapisteissä huomioitiin häiriöinä kivet, kannot, aliskasvos (heinät ja varvut), veden pinta urassa sekä hakkuutähteen määrä ottamalla joka kohdasta mitta häiriötekijän kanssa sekä ilman häiriötekijää.

Aineisto kerättiin maastotietolomakkeelle (liite 1). Maastolomake sisälsi seuraavat tiedot: kohde, koeala, mittapiste, 5 mittausta, luokittelu ja maa-aineksen. Jokaiselle mittapisteelle oli arvosarake ilman häiriötekijää ja häiriötekijän kanssa.

Tarvittavat välineet kohteen koealoille olivat: ristiviivalaser CXT® SK105GDZ, säänkestävät lomakkeet, mittakeppi, mittanauhan pätkä ja mittanauha (liite 2). (Poikela, 2020).

Ajalliset ja taloudelliset resurssit huomioiden maastomittausaika oli yksi päivä kohteittain. Maastossa mitattiin 3 kohdetta kolmessa päivässä ja koealamäärä kohteittain oli 8kpl. Mittapisteitä oli koealoittain 50 kpl. Kohteella oli 400 näytettä. Yhteensä muodostui 1200 näytettä 3:lta kohteelta sekä häiriöiden arvot mittapisteiden kohdilta, jos niitä ilmeni. Häiriöiksi lukeutui havutus, aliskasvos (heinät ja varvut), vedenpinta ajourassa, uran reunan pullistuma, kivet ja kannot. Raiteen syvyystieto saatiin laskemalla: raiteen syvyys vähennettynä maanpinnan ja ajouran keskikohdan keskiarvosta.

Tämä loi mahdollisuuden käyttää ryväotantamallia. Koealat sijoiteltiin dronen havaitsemien ajourapainaumien mukaan. Otokseen tuli runsaita ajourapainauksia sekä kohtia, joissa on havaittu vain vähän tai ei ollenkaan painauksia. Lisäksi ilmakuvulta ja painumakartasta havaitut runsaat painaumet todennetaan maastossa kuvaamalla (liite 3).

Otantamalli perustuu monivaiheisuuteen eli mittaustulokset kerätään koko ryppään osalta yhtä aikaa. Otannan eduksi katsotaan taustamuuttujien laaja keräys mahdollisuus sekä näiden vastaavuuden huomiointi perusjoukossa. (Valli 2015, 27–29.)

7.2 Aineiston analysointi

Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisena (määrällisenä) tutkimuksena. Dronen tuloksia verrattiin maastomittauksiin eli kyseessä on vertaileva tutkimus. Kolmelle kohteelle laadittiin otantasuunnitelma. Havaintoaineistoa analysoitiin tilastollisesti. Kvantitatiivinen menetelmä perustuu numeeriseen mittaamiseen ja on siksi optimaalinen valinta opinnäytetyölle. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 135–136.)

Kun maastoaineisto oli kerätty, materiaali kirjattiin Exceliin. Excelissä käytettiin laskentakaavoja urapainumien laskemiseksi erikseen mittaamalla painumat ensiksi kivennäismaan tasosta ja sitten kasvillisuuden tai muiden pinnanmuotojen korjaukset huomioiden. Laskennan sujuvoittamiseksi laadittiin ”jos funktiolla” kaavoja Exceliin. Tämän jälkeen maastomittausaineisto oli vientivalmis analysoitavaksi SPSS:n tilasto-ohjelmalla. Jimi Rajajärven lähettämistä drone-tiedostoista mitattiin CloudCompare 3D-pilviprosessointiohjelmistolla dronen mittamat ajourapainaumien raja-arvot. Arvot kirjattiin Exceliin ja siirrettiin sitten analysoitavaksi SPSS-ohjelmaan.

CloudComparessa sovelluksen työkaluilla muodostettiin mittajana ortomosaiikille 0,5 m:n välein poikkijanoilla. Ilmakuvaan asetettiin ajouran keskelle 5 m:n jana, jossa on 1 m:n välein poikkiviivat. Poikkiviivan pituus oli 2,1 m eli 105 cm kummankin raiteen suuntaan. Näin määräytyi raiteen keskikohta metsäkoneen renkaan keskikohdan mukaan. Kun muokattava taso muutettiin skalaarikentäksi, saatiin ”properties” ikkunassa käytettyä liukukytkintä, jolla sai säädettyä z-akselinarvoa siten, että, näkee millä kohdalla syvyysarvoa pistepilvi murtuu poikkiviivan kärjessä (liite 5).

Aineisto luokiteltiin erilaisiin kokonaisuuksiin ilman häiriötekijöitä sekä tietyt häiriötekijät mukaan lukien. Luokittelun jälkeen aineisto pilkottiin painauman määrään mukaan erilaisiin painaumaryhmiin. Ryhmät ristiintaulukoitiin siten, että nähdään kuinka paljon painaumaa oli tietyssä luokassa maastomittauksen mukaan sekä kuinka dronen mittaama määrä kohtasi maastomittausten kanssa. Kokonaisuuksia syntyi painumat ilman häiriötekijöiden vaikutusta. Kokonaisuudessa pinnanmuodot, huomioitiin kivet, kannot, uran reunan pullistuma ja veden pinta urassa. Kokonaisuudessa havutus ja aliskasvos huomioiden oli mukana: heinät, varvut ja havutus. Kokonaisuudessa kaikki häiriötekijät mukaan lukien (ei aliskasvosta) oli mukana: havutus, kivet, kannot, uran reunan pullistuma ja veden pinta urassa. Kokonaisuudessa kaikki häiriötekijät oli mukana: kivet, kannot, uran reunan pullistuma, veden pinta urassa, havutus ja aliskasvos.

Tulosten käsittelyn mitta-asteikkona käytettiin monimuotoista järjestys- eli ordinaaliasteikkoa. Havainnot asetettiin järjestykseen ominaisuuden määrän mukaan. Asteikon tilastollisen merkitsevyyden testaukseen soveltuvat yleisesti ottaen kaikki ei-parametriset testit. (Valli 2015 36).

Tilastollisella tutkimuksella tavoitellaan tuloksia, jotka voi yleistää myös perusjoukkoon. Tulkitaan, voidaanko tulos yleistää koskemaan perusjoukkoa. Merkitsevyyden testaus perustuu varmuuden määrittämiseen, eli voiko tiedot yleistää myös perusjoukossa.

Tilastollisissa merkitsevyyden testauksissa käytetään kolmea termiä: tilastollisesti melkein merkitsevä ($p=0,05$), tilastollisesti merkitsevä ($p=0,01$) ja tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p=0,001$). Suluissa olevat luvut kertovat, millainen riski tulosten yleistettävyydellä on eli millä todennäköisyydellä tulokset eivät ole sitä, miltä saatu tutkimustulos, esimerkiksi taulukko näyttää (Valli, 2015 103).

Testausmuodot jakautuvat parametrisiin ja ei-parametrisiin. Aineiston jakautuminen vaikuttaa testaustapojen valintaan. Testausmahdollisuus riippuu siitä, onko aineisto normaalijakautunut vai ei. (Valli 2015, 104–116.)

Aineiston jakautuneisuus testattiin SPSS ohjelmistossa. Aineisto ei ole normaalijakautunut. Testaamiseen käytettiin ei-parametristä testiä. Menetelmäksi valikoitui ominaisuuksien mukaan Wilcoxonin testi. Testauksessa tilastoyksiköiden arvot mitattiin kahteen kertaan. Tässä tutkimuksessa tehdyillä maastomittauksilla ja aiemmillä dronemittauksilla on ajallisesti väliä yksi vuosi. Tilastollisessa testauksessa asetettiin hypoteesit H_0 ; maastomittaukset ja dronemittaukset eroavat toisistaan merkitsevästi ja H_1 ; Maastomittaukset ja dronemittaukset eivät eroa toisistaan merkitsevästi.

8 Tulokset ja niiden tulkinta

8.1 Kurensillansuo maasto - ja dronemittausten osuvuus

Tulosten merkitsevyys oli yli 0,000 kohteen jokaisessa testiaineistossa, joten nollahypoteesi hylätään ja h1 astuu voimaan. Sama merkitsevyystaso kertoo kohteesta sen, ettei tilastollinen testaus SPSS ohjelmistolla tuota luotettavaa lopputulosta. Aineisto ei ollut normaalijakautunut, joten testausmahdollisuudet olivat vähäiset.

Taulukko 4. Kurensillansuo mittaustulosten merkitsevyys SPSS ohjelmistolla testattuna.

160kpl raiteen syvyysarvoja/kohde	Merkitsevyys	
Dronemittaukset/raidesyvyys ilman häiriöiden vaikutusta	0,000	Erittäin merkitsevä
Dronemittaukset/aliskasvos ja havutus vaikutus	0,000	Erittäin merkitsevä
Drone/pinnanmuodot huomioituina	0,001	Erittäin merkitsevä
Dronemittaukset/kaikkien häiriöiden vaikutus huomioitu	0,000	Erittäin merkitsevä
Dronemittaukset/kaikki häiriöt (ei aliskasvosta)	0,000	Erittäin merkitsevä

Kurensillansuon mittaukset ilman häiriöiden vaikutusta osoittavat, että drone on mitannut painaummat parhaiten luokassa 0 - 9,9 cm (taulukko 5). Osa dronen mittauksista on mennyt suurempaan luokkaan mikä voi kertoa pienestä erosta mittapisteen sijainnissa tai havutuksen läsnäolosta uran reunalla, joka on kohottanut dronen todentamaa mittauspintaa.

Taulukko 5. Ristiintaulukoituna Kurensillansuon mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä ilman häiriötekijöitä.

Manu: Raiteen syvyys ilman häiriöiden vaikutusta	Sarake (Drone)				
	-10 - -0 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	Yhteensä
Rivit					
-20 - 10 cm	1	1			2
-10 - -0 cm	7	8	6		21
0 - 9,9 cm	6	32	14	2	54
10 - 19,9 cm	1	29	14	2	46
20 - 29,9 cm	4	8	7	1	20
30 - 39,9 cm	2	5	5	1	13
40 - 49,9 cm	1	1	2		4
Yhteensä	22	84	48	6	160

Kun huomioidaan pinnanmuodot mittauksissa osuvuus dronella asteikolle 0 - 9,9 cm on edustavampi (taulukko 6). Tärkein ajourapainauksiksi tulkittava raja yli 10 cm:ssä ei ole merkittävää eroa edelliseen vertailuun.

Taulukko 6. Ristiintaulukoituna Kurensillansuon mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä pinnanmuodot huomioituna.

Manu: Raiteen syvyys pinnan muodot huomioiden	Sarake (Drone)				
	-10 - -0 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	Yhteensä
Rivit					
-30 - -20 cm			3		3
-20 - -10 cm	1				1
-10 - -0 cm	6	7	5		18
0 - 9,9 cm	5	35	12	2	54
10 - 19,9 cm	3	30	14	1	48
20 - 29,9 cm	4	4	7	2	17
30 - 39,9 cm	2	7	5	1	15
40 - 49,9 cm	1	1	2		4
Yhteensä	22	84	48	6	160

Kun tarkastellaan mittauksia painauman määrä häiriötekijät huomioiden ilman aliskasvoksen vaikutusta. Huomattiin, että drone on tuottanut usein aliarvion luokassa 10 - 19,9 cm. Tämä voi johtua pienestä erosta mittapisteen sijainnissa, mutta maastomittaus ja dronemittaukset ovat todella samankaltaiset (taulukko 7).

Taulukko 7. Ristiintaulukoituna Kurensillansuon mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä häiriöiden vaikutus huomioituna (ei aliskasvosta).

Manu: Raidesyvyys häiriöiden vaikutus huomioituna (ei aliskasvosta).	Sarake (Drone)				
	-10 - 0 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	Yhteensä
Rivit					
alle -10 cm		1	3		4
-10 - -0,1 cm	1	1	3	1	6
0 - 9,9 cm	3	8	6		17
10 - 19,9 cm	5	29	10		44
20 - 29,9 cm	5	21	16		42
30 cm tai yli	8	24	10	5	47
Yhteensä	22	84	48	6	160

8.2 Saunalamminsuu maasto – ja dronemittausten osuvuus

Saunalamminsuolla mittapisteissä oli todella vähän häiriötekijöitä. SPSS ohjelmistolla selvitetystä tuloksista huomataan, että kun huomioidaan vähäisetkin häiriötekijät merkitsevyys tuloksissa on edustavin. Tulosten merkitsevyystaso on erittäin merkitsevä 0,001, joten nollahypoteesi hylätään ja h1 astuu voimaan. Drone mittaa painaumat havutuksen ja pinnanmuotojen mukaan.

Taulukko 8. Saunalamminsuon mittaustulosten merkitsevyys SPSS ohjelmistolla testattuna.

160kpl raiteen syvyysarvoja/kohde	Merkitsevyys	Tilastollisesti
Dronemittaukset/raidesyvyys ilman häiriöiden vaikutusta	0,04	Melkein merkitsevä
Dronemittaukset/aliskasvos ja havutus vaikutus	0,001	Erittäin merkitsevä
Dronemittaukset/pinnanmuodot huomioituna	0,004	Merkitsevä
Dronemittaukset/kaikkien häiriöiden vaikutus huomioitu	0,001	Erittäin merkitsevä
Dronemittaukset/kaikki häiriöt (ei aliskasvosta)	0,001	Erittäin merkitsevä.

Alla olevat ristiintaulukoinnit Saunalamminsuolta ovat todella samankaltaiset, koska kohteella ei ollut paljoa häiriötä muodostavia tekijöitä. Mittaukset kohtavat parhaiten luokassa 10 - 19,9 cm. Mittausten hajaantuminen dronemittauksessa viereisiin luokkiin voi olla selitettävissä pienellä sijaintierolla mittapisteissä tai vain pienellä millierolla (taulukko 9).

Taulukko 9. Ristiintaulukoituna Saunalamminsuon mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä ilman häiriötekijöiden vaikutusta.

Manu: Raiteen syvyys ilman häiriöiden vaikutusta	Sarake (Drone)							
	-20 - -10 cm	-10 - -0 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 - 39,9 cm	40 - 49,9 cm	Yhteensä
-20 - -10 cm			1	1	1			3
-10 - -0 cm		1	5	4	2			12
0 - 9,9 cm		2	16	15	7		2	42
10 - 19,9 cm	1	2	12	29	18	1	1	64
20 - 29,9 cm		1	3	3	13	4		24
30 - 39,9 cm				2	5	2	1	10
40 - 49,9 cm				1	1	2	1	5
Yhteensä	1	6	37	55	47	9	5	160

Taulukko 10. Ristiintaulukoituna Saunalamminsuon mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä pinnanmuodot huomioituna.

Manu: Raiteen syvyys pinnan muodot huomioiden	Sarake (Drone)							
	-20 - -10 cm	-10 - 0 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 - 39,9 cm	40 - 49,9 cm	Yhteensä
Rivit								
-20 - -10 cm			1	1	1			3
-10 - -0 cm		1	5	4	2			12
0 - 9,9 cm		2	16	15	7		2	42
10 - 19,9 cm	1	2	12	29	18	1	1	64
20 - 29,9 cm		1	3	3	13	4		24
30 - 39,9 cm				2	5	2	1	10
40 - 49,9 cm				1	1	2	1	5
Yhteensä	1	6	37	55	47	9	5	160

Kun mittaustuloksissa huomioidaan kaikkien häiriötekijöiden vaikutus (taulukko 11). Luokissa 0 - 9,9 cm ja 10 - 19,9 cm on pieni ero osuvuudessa verrattuna aineistoon ilman häiriötekijöitä.

Taulukko 11. Ristiintaulukoituna Saunalamminsuon mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä häiriötekijöiden vaikutus huomioiden.

Manu: Rai- teen sy- vyys kaikki häi- riöt huomi- oiden	Sarake (Drone)							
	-20 - - 10 cm	-10 - -0 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 - 39,9 cm	40 - 49,9 cm	Yhteensä
-20 - -10 cm			1	2	1			4
-10 - -0 cm		1	6	4	2			13
0 - 9,9 cm		2	16	15	7		2	42
10 - 19,9 cm	1	2	11	28	19	1	1	63
20 - 29,9 cm		1	3	3	12	4		23
30 - 39,9 cm				2	5	2	1	10
40 - 49,9 cm				1	1	2	1	5
Yhteensä	1	6	37	55	47	9	5	160

8.3 Vesijärven maasto- ja dronemittausten osuvuus

Tulosten merkitsevyys oli yli 0,000 kun huomioidaan kaikki häiriötekijät tulos testauksessa on merkitsevin, joten nollahypoteesi hylätään ja h_1 astuu voimaan. Tämä tarkoittaa sitä, että drone tulkitsee urapainauamat havutuksen ja muut häiriötekijät huomioiden. Heikoin merkitsevyys tuli kun analysoinnissa ei huomioitu häiriötekijöiden vaikutusta.

Taulukko 12. Vesijärven mittaustulosten merkitsevyys SPSS-ohjelmistolla testattuna.

160kpl raiteen syvyysarvoja/kohde	Merkitsevyys	Tilastollisesti
Dronemittaukset/raidesyvyys ilman häiriöiden vaikutusta	0,53	Ei merkitsevä.
Dronemittaukset/aliskasvos ja havutus vaikutus	0,04	Melkein merkitsevä.
Drone/Pinnanmuodot huomioituna	0,733	Ei merkitsevä.
Dronemittaukset/kaikkien häiriöiden vaikutus	0,000	Erittäin merkitsevä.
Dronemittaukset/kaikki häiriöt (ei aliskasvosta)	0,136	Ei merkitsevä.

Vesijärvellä painauman määrä ilman häiriötekijöiden vaikutusta kohtaa parhaiten maasto ja dronemittauksissa luokassa 10 - 19,9 cm (taulukko 13). Drone on tuottanut usein aliarvion painaumasta, mikä voi johtua siitä kun esimerkiksi havutuksen vaikutusta ei huomioida.

Taulukko 13. Ristiintaulukoituna Vesijärven mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä ilman häiriötekijöitä.

Manu: Raiteen syvyys ilman häiriöiden vaikutusta	Sarake (Drone)						
	alle -10 cm	-10 - -0.1 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 cm tai yli	Yhteensä
Rivit							
-10 - -0.1 cm	1		3	2	2		8
0 - 9,9 cm		3	13	22	3		41
10 - 19,9 cm	1	1	11	25	6	3	47
20 - 29,9 cm		1		8	10	10	29
30 cm tai yli			1	3	11	20	35
Yhteensä	2	5	28	60	32	33	160

Kun tarkastellaan havutuksen ja aluskasvillisuuden vaikutusta mittauksissa (taulukko 14). Tuloksista huomataan, että drone on tuottanut usein aliarvion. Arvion vääristymän voi tehdä se ettei drone huomioi heinäisyyttä mittapintana kohteella. Mittauksien välillä oli vuosi aikaa ja näytti siltä, ettei dronokuvausaikaan ollut heinäisyyttä havaittavissa.

Taulukko 14. Ristiintaulukoituna Vesijärven mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä havutus ja aluskasvillisuus huomioiden.

Manu: Raiteen syvyys havutus ja aluskasvillisuus huomioiden	Sarake (Drone)						
	alle -10 cm	-10 - -0,1 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 cm tai yli	Yhteensä
Rivit							
-10 - -0.1 cm	1		1	2	1		5
0 - 9,9 cm			9	14	3		26
10 - 19,9 cm	1	3	8	13	5	2	32
20 - 29,9 cm		2	6	12	10	10	40
30 cm tai yli			4	19	13	21	57
Yhteensä	2	5	28	60	32	33	160

Kun huomioidaan pinnanmuodot mittaustuloksissa ne tuovat parempaa osuvuutta dronen ja maastomittausten välillä (taulukko 15). Parhain osuvuus on luokassa 10 - 19,9 cm.

Taulukko 15. Ristiintaulukoituna Vesijärven mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä pinnanmuodot huomioituna.

Manu: Raiteen syvyys pinnanmuodot huomioiden	Sarake (Drone)						
	alle -10 cm	-10 - -0,1 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 cm tai yli	Yhteensä
Rivit							
-10 - -0,1 cm	1		4	2	2		9
0 - 9,9 cm		3	13	22	3		41
10 - 19,9 cm	1		10	21	6	3	41
20 - 29,9 cm		2		10	9	4	25
30 cm tai yli			1	5	12	26	44
Yhteensä	2	5	28	60	32	33	160

Kun huomioidaan mittaustuloksissa kaikki häiriötekijät ilman aliskasvosta. Luokassa 0 - 9,9 cm drone on tuottanut usein yliarvion seuraavaan luokkaan. Luokassa 10 - 19,9 cm mittaukset kohtaavat parhaiten mutta merkittävä osa on kuitenkin dronella alemmassa luokassa.

Taulukko 16. Ristiintaulukoituna Vesijärven mittaustulosten kohtaaminen samalla desimetrillä häiriöiden vaikutus huomioituna (ei aliskasvosta).

Manu: Raiteen syvyys häiriöiden vaikutus huomioituna (ei aliskasvosta).	Sarake (Drone)						
	alle - 10 cm	-10 - - 0,1 cm	0 - 9,9 cm	10 - 19,9 cm	20 - 29,9 cm	30 cm tai yli	Yhteensä
-10 - -0,1 cm	1		3	2	1		7
0 - 9,9 cm		2	10	18	3		33
10 - 19,9 cm	1	1	14	18	5	3	42
20 - 29,9 cm		2		14	10	4	30
30 cm tai yli			1	8	13	26	48
Yhteensä	2	5	28	60	32	33	160

9 Pohdinta

9.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimustulosten luotettavuuteen vaikutti mittausmenetelmä sekä analysointitavat. Mittausmenetelmä vaikuttaa siihen mitä tilastollisia menetelmiä voidaan käyttää luotettavan tuloksen aikaansaamiseksi. (Valli 2015, 31.)

Tässä tutkimuksessa tulosten luotettavuus perustui maastomittaustulosten sekä dronella saatujen tulosten vertailuun sekä analysointiin. Lisäksi tuloksia analysoitiin usealla menetelmällä, mikä varmentaa tulosten luotettavuuden. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 226–228.)

Tutkimus validiteetin eli pätevyyden varmentamiseksi. Tutkimuksen tekijä harjoitteli maastomittauslaitteiston käyttöä ennen varsinaisten mittausten tekoa.

Koealalla ristiviivalaser asennettiin hyvälle mittauskorkeudelle sekä raiteiden ulkopuolella huomioitiin mihin syvyyteen mittakeppi asetettiin maanpinnan tasolla. Tulosten tilastollisen testauksen mahdollisuudet pienenevät merkittävästi, koska aineisto ei ollut normaalijakautunut. Mittaustuloksia verrattiin myös excelissä ristiintaulukoimalla.

9.2 Tutkimuksen luotettavuus

Vertaileva tutkimus selvitti dronen luotettavuutta ilmasta käsin kuvattuun ajourapainaumadataan. Jos dronen tulokset ovat yhteneviä maastomittausten kanssa, voidaan tulevaisuudessa droneja hyödyntää enemmänkin korjuujäljen tarkastelussa.

Tutkimukseen toi oman haasteensa se, että kohteilla vierailtiin vain kerran. Silloin kun dronekuvaukset tehtiin, tutkimuksen tekijä ei vierailut kohteilla ja kuvaukset teki eri henkilö, joten ennakkotietoa oli todella vähän saatavilla. Kohteissa oli erilaisia haasteita. Saunalamminsuu oli rehevyydeltään karuin kohteista, koska havainnoitavia muuttujia ei ollut paljoa. Kurensillansuolla oli paljon hakkuutähdettä ja ajourapainaumaa. Vesijärven maasto oli kalteva ja siellä kasvoi runsaasti heinää sekä ajourissa oli runsaasti vettä (liite 4).

Koealoja oli paikoin mahdoton sitoa maastoon kiintopisteittäin ilmakuvan perusteella. On myös mahdollista, että maastomittauskoealat ja dronen mittaustiedot eivät ole tarkasti samassa kohdassa. Mittapisteen sijainti raiteen keskikohdalla määritettiin silmämääräisesti. Maanpinnan taso raiteen oikealla tai vasemmalla puolella määritettiin 0,5 m koskemattomasta maanpinnasta raiteen laidasta päin.

CloudComparella painaumia mitatessa (liite 5), ei voida olla varmoja mille kohdalle painaumaa otettu maastoarvo sijoittui. Lisäksi oli mahdotonta saada luotettavasti 10 m jana risteyksestä koealan keskelle, koska puiden tai kiintopisteiden sijainti kartalla voi vaihdella tai mukana voi olla vääristymää. Koealan

sitominen oli aikaa vievää ja selvää varmuutta ei ollut tarkasta sijainnista maastossa ja pistepilvellä. Koealan paikka oli merkitty paperikartalle keskelle näkyvää latvusta ilmakuvasta. Oletettua sijaintia pystyi päättelemään myös painuman perusteella. Lisäksi oman haasteensa toi vedenpinta urassa, joka voi vääristää tulosta. Vääristymä huomioitiin ottamalla mitta vedenpinnasta sekä uran pohjalta. Mittaukset kokonaisuutena olisivat vaatineet enemmän aikaa. Tutkimukseen kohteittain oli aikaa vuorokausi. Aikaa kului noin 45min per koeala.

Kirjaamisia sekä aineiston käsittelyä CloudComparella ja Excelillä sai harjoitella paljon. Kohteet oli hakattu vuonna 2019 keväällä tai syksyllä sekä dronemittaukset oli tehty ajanjaksolla syys-lokakuu 2019. Maastomittaukset tehtiin vuosi dronemittauksista. On myös mahdollista, että osa painaumista on palautuvia painaumia. Kun dronen kuvamateriaalista muodostettiin pistepilvi Agisoft tietokoneohjelmalla. Pistepilvi vietiin käsiteltäväksi CloudCompareen.

CloudComparessa --.las-tiedostomuodossa tuotu pistepilvi avattiin X, Y, Z-koordinaatistossa, jossa pistepilvi on automaattisesti skaalautunut todennukaiseen mittakaavaansa ja on vapaasti liikuteltavissa ohjelman luomassa "avaruudessa". Kuvan käsittely aloitetaan toimenpidekuvion rajauksella, jossa ylimääräiset alueet poistetaan kuvion ympäriltä. Tämän jälkeen puuston latvukset poistettiin tarkoituksenmukaisella työkalulla, joka arvioi pistepilven struktuureista maanpinnan tason, jonka jälkeen annettujen suodatusarvojen mukaisesti se poistaa yli 0,5 metrin maanpinnan tason yläpuolella sijaitsevat pisteet (Rajajärvi, 2020)

Yllä mainittu piti ottaa huomioon maastomittauksia tehdessä. Drone ei kuvattaessa tunnista mahdollista häiriötä aliskasvoksesta tai materiaalista alle 0,5 metrin korkeudessa. Tulosten tarkkuuden varmentamiseksi dronemittauksiin pitäisi saada luotettava gps-tieto. Päätelmänä maastomittausten jälkeen voidaan todeta, että drone ottaa huomioon muuttujat mittapisteissä. Esimerkiksi havut. Koealakohtaista painaumien keskiarvolaskentaa tehdessä huomattiin, että vesijärven ja saunalamminsuon drone sekä maastomittauksissa mittaukset ovat lähellä toisiaan tai saman suuntaisia (liite 6). Kurensillansuon kohdalla keskiarvot poikkesivat runsaasti toisistaan. Yksi mahdollinen vaikuttava tekijä voi olla, että ennen drone-kuvauksia oli kerennyt sataa lunta. Keskiarvoja vertailemalla voidaan vähentää vääristymää, jos dronen- sekä maastomittauksen mittapisteet eivät ole olleet aivan samassa kohdassa. Viimeiseksi tehtiin Excelillä yli 10 cm:n ja alle 10 cm onnistumisvertailua aineistosta, että miten suuntaa -antavasti

drone ja maastomittaukset ovat samanlaisia (liite 7). Saunalamminsuolla mittaukset kohtasivat yli 10 cm:ssä 82 % ja Vesijärvellä mittaukset kohtasivat yli 10 cm:ssä 84 %. Kurensillansuolla mittaukset kohtasivat yli 10 cm:ssä vain 31 %.

Aikaisemmin dronella oli kuvattu avohakkuualueita, joista oli saatu painaumatie-toa syvyysluokittain (Talbot, Rahlf & Astrup 2017, 387 - 390). Harvennusmet-sistä tehdyistä kuvantamisista ei ole tutkimustietoa.

9.3 Jatkokehitystarpeet

Jatkoa ajatellen drone- ja maastomittaus tulisi suorittaa heti puunkorjuun jäl-keen. Näin välttyttäisiin turhilta vääristymiltä tuloksissa sekä maastoon ei muo-dostuisi häiriöitä kasvavasta heinästä tai palautuvista painumista. Dronen ajourapainumakartoilta oli mahdollista paikallistaa pahimmat ajourapainumat sekä kohdat, joissa ei ole painumaa. Kartat olivat hyvä apu maastossa kulke-miseen.

Tutkimuksen tarkkuuden lisäämiseksi ilmakehäväestön tarkkuus perustuu GPS-tai GNSS-satelliittipaikannukseen. Yleensä saatu paikannustarkkuus on noin metri. Ilmakehäväestön gps tarkkuutta voisi tehostaa RTK-järjestelmällä. RTK-menetelmässä tarkkuus perustuu tarkasti paikannettuun pisteeseen. Pis-teeseen asetetaan tukiasema, joka tuottaa korjausdataa esimerkiksi dronelle. Menetelmä perustuu dronen ja tarkassa pisteessä sijaitsevan tukiaseman väli-seen kommunikaatioon. Tämä vähentää paikannuksessa toteutuvaa virhettä metrien sijasta jopa alle senttimetrien tasolle. (Mäki 2018, 8–9.)

Kun valitaan dronea kuvaamiseen, tulee kiinnittää huomiota, kuinka iso kuvat-tava alue on. Laajoja alueita kuvattaessa dronen ei tarvitse pysyä paikoillaan esimerkiksi kovassa tuulessa. Kuvausprosessia aloitettaessa tulee tehdä kartoi-tus lentokorkeuden määrittämisestä. Kameran laatu ja resoluutio sekä nousu- ja laskeutumisalueen valinta tulee selvittää. Kun on tarve sitouttaa karttakuvat

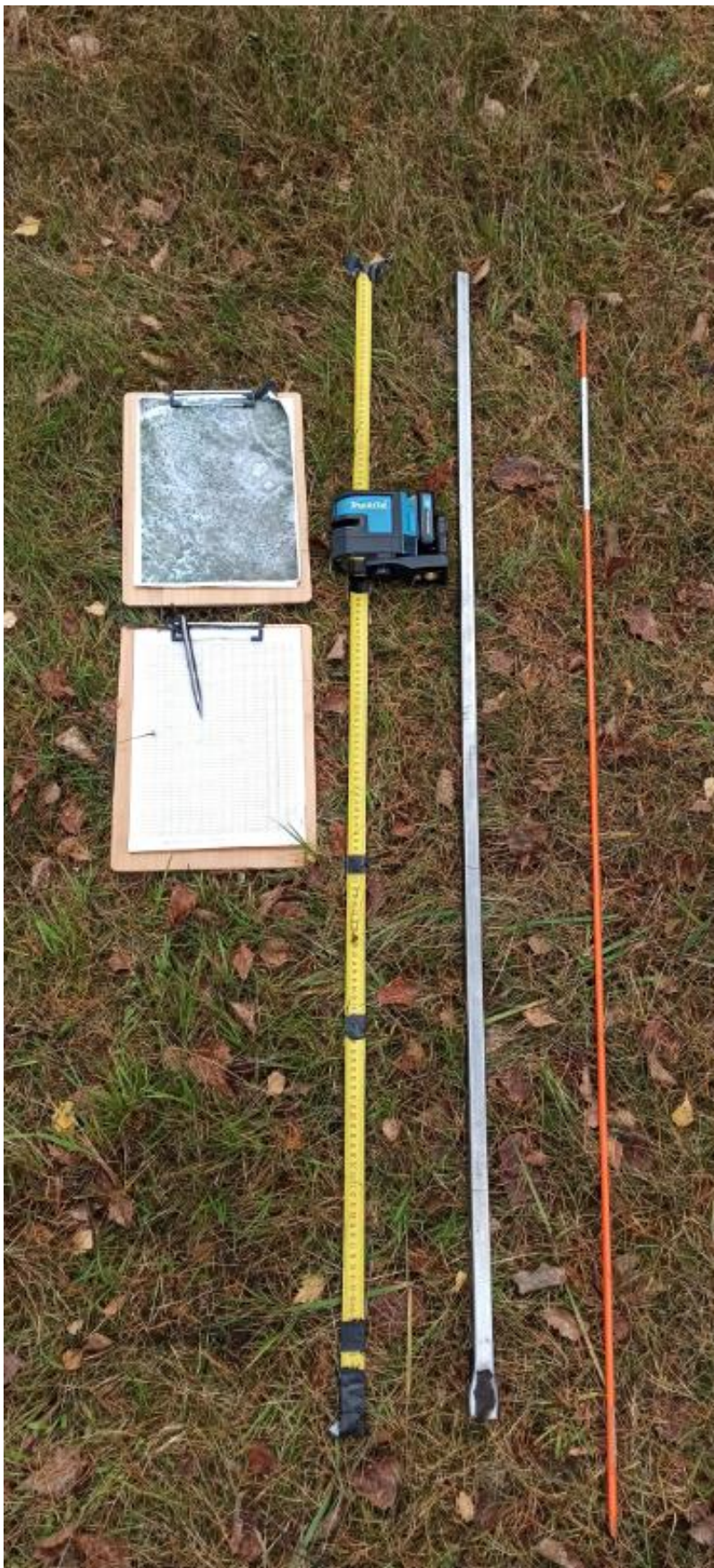
koordinaatteihin tai mittauksia varten, tulee tämä ottaa datapaketin georeferoinnissa huomioon. Mitä tarkempaa tietoa esimerkiksi pintavaurioista halutaan, sitä lähempää kohdetta kuvaus on tehtävä. (Mäki 2018, 10–11.)

Yksi tapa saada tarkempaa tietoa dronen mittaustarkkuudesta olisi ottaa laajempi tutkimusaineisto erilaisista metsätyypeistä ja erilaisesta puustosta. Lisäksi dronen pistepilviaineistoon tulisi saada myös gps:llä tarkat koealahavaintopaikat ja niistä syvyyystieto.

Lähteet

- Alajärvi, P. & Poikela, A. 2020. Maastomittaukset. Keskustelu. 1.9.2020.
- Anttila, T. 2019. Miksi korjuujäljellä on väliä? Näin varmistamme laadukkaan puunkorjuun. UPM METSÄ. <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/blogi/tero-anttila/miksi-korjuulaadulla-on-valia/>. 20.9.2020.
- forest.fi. 2020. Puunkorjuu (harvesting). Suomen Metsäyhdistys. <https://forest.fi/fi/sanasto/puunkorjuu-harvesting/>. 8.9.2020.
- Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja Kirjoita. Helsinki: WSOY.
- Högnäs, T. Kumpare, T. & Kärhä K. 2011. Turvemaaharvennusten korjuukelpoisuusluokitus. Metsäteho.
- Joensuu, S., Kauppila, M. Lindén, M. & Tenhola, T. 2012. Hyvän metsänhoidon suositukset- Vesien Suojelu. Metsätalouden Kehittämiskeskus Tapijon julkaisuja.
- John Deere. 2020. Kuormatraktorit. <https://www.deere.fi/fi/kuormatraktorit/>. 12.9.2020.
- Kashyap, V. 2020. A Brief History of Drones: The Remote controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Interesting Engineering. <https://interesting-engineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>. 14.9.2020.
- Kjellberg, L. 2018. Korjuuapua pehmeille maille. Metsälehti. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/korjuuapua-pehmeille-maille/#c1fe0c6b>. 20.9.2020.
- Kokko, P. & Sirén, M. 1996. Harvennuspuun korjuujälki, Korjuujäljen seurausvaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, 592. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. 8.9.2020.
- Koneosapalvelu. 2020. KOPA--kantavat telat. 16.9.2020.
- Metla. 2013. Mitä metsätyypit ovat? <http://www.metla.fi/metinfo/kasvupaikkatyypit/metsatyypit.htm>. 16.9.2020.
- Metsäkeskus. 2019. DRONE KERÄÄ KETTERÄSTI TIETOA METSÄSTÄ. <https://www.metsakeskus.fi/uutiset/drone-keraa-ketterasti-tietoa-metsasta>. 6.9.2020.
- Metsäteho Oy. 2003. Korjuujälki harvennushakkuussa opas.
- Metsäteho Oy. 2005. Korjuun suunnittelu ja toteutus.
- Metsäverkko. 2020. Metsätyypit. <http://virtuoozi.pkky.fi/metsaverkko/metsaekologia/metsatyypit/index.htm>. 16.9.2020.
- Mäkelä, M. 2019. SUOMEN METSÄVARAT KASVAVAT JATKUVASTI. Metsäteollisuus. <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/suomen-metsavarat-kasvavat-jatkuvasti>. 22.10.2020.
- Mäki, H. 2018. Drone-kuvadatan tuottaminen, analysointi ja fotogrammetria. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/157509>. 21.12.2020
- Ovaskainen, H. 2012a. Koneellinen puunkorjuu. Metsäteho. <http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/koneellinen-puutavaran-valmistus/hakkuukonetyon-suunnittelun-tyomalli/ajourasto/>. 8.9.2020.
- Ovaskainen, H. 2012b. Työmallit koneellisessa puunkorjuussa. Metsäteho.
- Pierzchata, M. Talbot, B. Astrup R. 2016. Measuring wheel ruts with close

- range photogrammetry. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 89, Issue 4.
- Poikela, A. 2020. Erikoistutkija, MMM. *Metsäteho*. 24.9.2020.
- Ponsse. 2018. Ponssen ratkaisut turvemaiden puunkorjuuseen. *Suometsien Sadonkorjuu*.
- Ponsse. 2020. Poikki ja pinoon. CTL tavaralajimenetelmä. Ponsse OYJ.
- Rajajärvi, J. 2020. Ajouratunnusten tarkastelu fotogrammetriselta pistepilveltä. *Helsingin yliopisto*. 12.9.2020.
- Strandström, M. 2018. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2017. *Metsäteho Oy*.
- Sirén, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*, 694. *Hakapaino Oy*. 9.9.2020.
- Suomen Metsäkeskus. 2014. *Suometsien puunkorjuu*.
- Suomen Metsäkeskus. 2019. *Hakkuuaikomukset*.
- Suomen Metsäkeskus. 2020. *Maastotarkastusohje*.
- Skyttä, V. 2019. 5 kysymystä yläharvennuksesta. *Metsälehti*.
<https://www.metsalehti.fi/artikkelit/5-kysymysta-ylaharvennuksesta/#c1fe0c6b>. 8.9.2020.
- Talbot, B. Rahlf, J. Astrup, R. 2018. An operational UAV-based approach for stand.level assessment of soil disturbance after forest harvesting. *Scandinavian Journal Of Forest Research*. Vol 33, NO. 4.
- TASO-hankkeen ohjausryhmä. 2012. *Metsätalouden vesien suojelu -kouluttajan aineisto*. 20.9.2020.
- Ullakko, M. 2015. Nykyaikainen ilmakuvaus arkkitehdin työvälineenä. *Aalto yliopisto*. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/18560/master_Ullakko_Miika_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 12.9.2020.
- Valli, R. 2015. *Johdatus tilastolliseen tutkimukseen*. PS-kustannus.



Kuva 12. Mittausvälineet (Kuva: Mikko Harjunen).



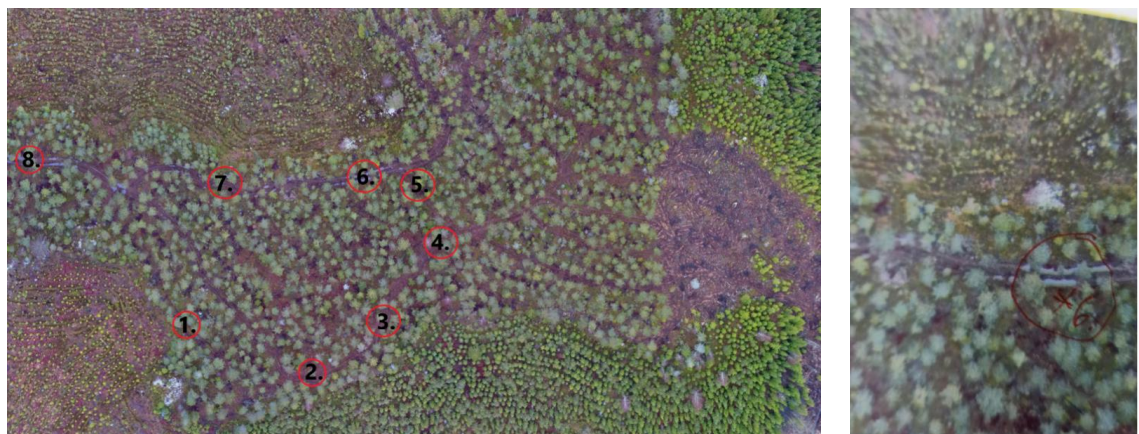
Kuva 13. Merkittävä ajourapainaus (Kuva: Mikko Harjunen).



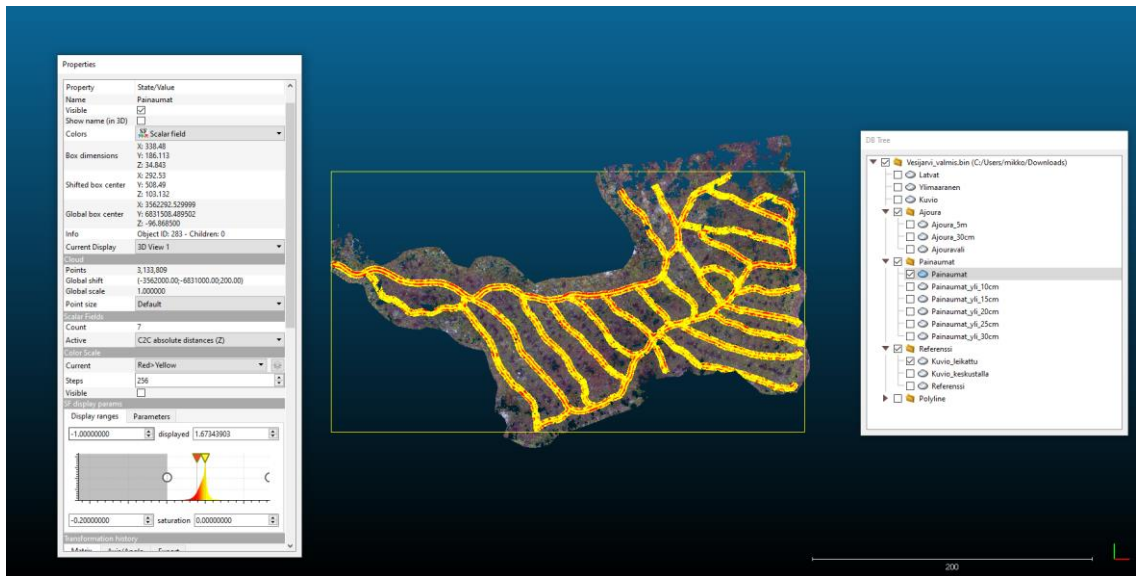
Kuva 14. Ilmakuvalta havainnoitu merkittävä ajourapainaus (Kuva: Jimi Rajajärvi).

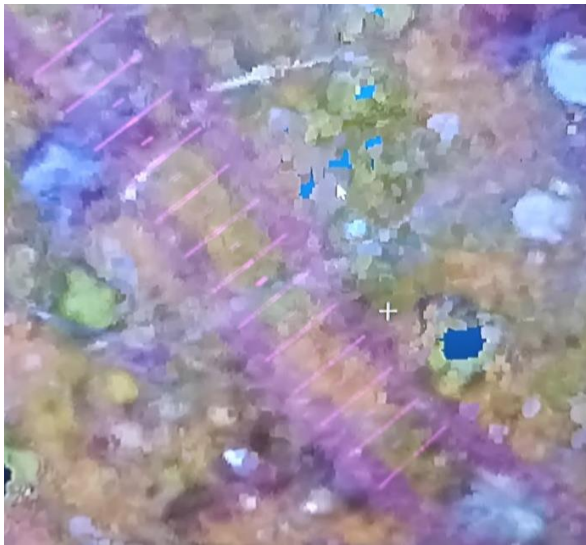


Kuva 15. Koeala 6. maastossa. Kuva Mikko Harjunen



Kuva 16. Koeala 6. havainnollistettuna (Kuvat: Jimi Rajajärvi).





Properties

Property	State/Value
Points	3,133,809
Global shift	(-3562000.00; -6831000.00; 200.00)
Global scale	1.000000
Point size	Default

Scalar Fields

Count	7
Active	C2C absolute distances (Z)
Color Scale	
Current	Red>Yellow
Steps	256
Visible	<input type="checkbox"/>

SF display params

Display ranges	Parameters
-0.15238385	displayed 1.67343903
-2.54877637	saturation -0.20000000

Transformation history

Matrix	Axis/Angle	From
--------	------------	------

Taulukko 17. Raiteiden keskiarvotarkastelu ja hajonta

Kohde	Koala	Puoli	Maasto_ka	Drone_ka	Maasto_std	Drone_std
1	1	Vasen	23,05	19,57612	16,98595	12,86087
1	2	Vasen	11,3	20,5691	4,20238	10,03054
1	3	Vasen	8,7	16,65789	12,5503	9,975808
1	4	Vasen	10,8	11,65156	10,01299	8,331574
1	5	Vasen	15,1	15,89852	4,02368	3,736466
1	6	Vasen	8,5	10,63643	6,855655	7,944094
1	7	Vasen	21,55	22,32503	12,22385	11,88508
1	8	Vasen	12,25	14,92482	6,32159	6,715486
1	1	Oikea	24	22,03142	15,0549	10,94453
1	2	Oikea	17,35	19,63255	9,311418	8,174129
1	3	Oikea	7,1	14,07186	3,746999	6,371776
1	4	Oikea	17,15	11,69442	10,24463	10,4274
1	5	Oikea	7,95	14,99626	4,957066	5,546583
1	6	Oikea	4,3	4,232773	8,527016	10,36048
1	7	Oikea	17,55	25,26897	14,48698	4,91624
1	8	Oikea	11,8	17,70731	11,5395	16,18216
2	1	Vasen	7,65	9,833918	5,612709	12,22057
2	2	Vasen	10,05	12,01116	2,902154	4,141583
2	3	Vasen	23,8	22,56747	13,79348	13,14218
2	4	Vasen	17,15	14,67747	7,962569	6,797258
2	5	Vasen	6,75	6,216859	5,110039	5,697136
2	6	Vasen	31,95	25,43114	4,579574	10,05771
2	7	Vasen	22,4	25,78113	10,8462	11,6671
2	8	Vasen	36,45	37,28274	8,229368	19,54633
2	1	Oikea	17,5	11,82276	23,882	3,171645
2	2	Oikea	17,9	24,3148	4,565085	14,17016
2	3	Oikea	32,5	19,1379	18,1659	13,3752
2	4	Oikea	20,5	18,10823	9,9975	7,82377
2	5	Oikea	12,7	13,87391	12,22334	5,97502
2	6	Oikea	44,15	22,44981	19,56917	8,523073
2	7	Oikea	15,1	14,74304	10,28786	10,33302
2	8	Oikea	35,1	41,46457	10,49238	20,88535
3	1	Vasen	19,9	8,068555	22,39621	8,523834
3	2	Vasen	24,4	2,161634	11,23788	2,321971
3	3	Vasen	21,35	11,11431	10,41165	5,689546
3	4	Vasen	19,45	16,10045	24,47902	5,882025
3	5	Vasen	19,6	6,494119	13,55692	6,823239
3	6	Vasen	18,15	10,79921	8,590838	5,003026
3	7	Vasen	32,8	8,243049	13,31015	4,550189
3	8	Vasen	31,9	8,373924	7,870197	5,273971
3	1	Oikea	20,15	7,326583	14,84091	6,967944
3	2	Oikea	16,35	5,482109	13,17203	3,710874
3	3	Oikea	17,4	6,951632	15,03961	8,677291
3	4	Oikea	16,6	12,28316	26,55918	8,148373
3	5	Oikea	16,45	2,74244	5,456418	4,837278
3	6	Oikea	19	8,59457	12,47197	4,988632
3	7	Oikea	33,6	3,622136	11,39254	5,71868
3	8	Oikea	29	3,249704	10,01499	5,394934

Kohteiden drone ja maastomittausten alle 10 cm ja yli 10 cm kohtaamisten onnistumisprosentit.

Liite 7 1 (2)

Taulukko 18. Saunalamminsuon drone- ja maastomittausten alle 10 cm ja yli 10 cm kohtaamisten onnistumisprosentit, kun huomioidaan häiriötekijät ilman aluskasvillisuutta.

Kohde 1: Saunalamminsuo	Sarake: Drone			
	alle 10 cm	10 cm tai yli	Yhteensä	Osuvuus %
alle 10 cm	26	33	59	44 %
10 cm tai yli	18	83	101	82 %
Yhteensä	44	116	160	
	59 %	72 %		68 %

Taulukko 19. Vesijärven drone- ja maastomittausten alle 10 cm ja yli 10 cm kohtaamisten onnistumisprosentit, kun huomioidaan häiriötekijät ilman aluskasvillisuutta.

Kohde 2: Vesijärvi	Sarake: Drone			
	alle 10 cm	10 cm tai yli	Yhteensä	Osuvuus %
alle 10 cm	16	24	40	40 %
10 cm tai yli	19	101	120	84 %
Yhteensä	35	125	160	
	46 %	81 %		73 %

Kohteiden drone ja maastomittausten alle 10 cm ja yli 10 cm kohtaamisten onnistumisprosentit.

Liite 7 2 (2)

Taulukko 20. Kurensillansuon drone- ja maastomittausten alle 10 cm ja yli 10 cm kohtaamisten onnistumisprosentit, kun huomioidaan häiriötekijät ilman aluskasvillisuutta.

Kohde 3: Kurensillansuo	Sarake: Drone			
	alle 10 cm	10 cm tai yli	Yhteensä	Osuvuus %
Manu: Rivi				
alle 10 cm	14	13	27	52 %
10 cm tai yli	92	41	133	31 %
Yhteensä	106	54	160	
	13 %	76 %		34 %

Kohteiden drone ja maastomittausten alle 10 cm ja yli 10 cm kohtaamisten onnistumisprosentit.

Liite 7 1 (2)
