

KAUKOKARTOITUSPERUSTEISEN  
PYSTYLAHOPUUAINEISTON TARKKUUS

Louhenkoski Juha

Opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma  
Metsätalousinsinööri (AMK)

2024

Metsätalouden koulutusohjelma  
Metsätalousinsinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Juha Louhenkoski	<b>Vuosi</b>	2024
<b>Ohjaaja</b>	Jussi Soppela		
<b>Toimeksiantaja</b>	Metsähallitus Metsätalous Oy		
<b>Työn nimi</b>	Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuus		
<b>Sivumäärä</b>	51		

---

Lahopuun määrä on vähentynyt viimeisen vuosisadan aikana metsätalouden harjoittamisen myötä. Lahopuun tärkeys luonnon monimuotoisuudelle on kuitenkin tunnistettu viime vuosikymmeninä, ja inventointikeinoja on pyritty kehittämään. Euroopan Unioni on asettanut biodiversiteettistrategian yhdeksi osaksi lahopuun määrän lisäämisen, ja siksi sen inventointikeinojen tutkimisen lisääminen on perusteltua.

Tämän opinnäytetyön aiheena oli kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuus. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Metsähallitus Metsätalous Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa alustavat havainnot Metsähallitus Metsätalous Oy:n pilottihankkeen kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuudesta jatkotutkimuksia varten.

Opinnäytetyö toteutettiin kvantitatiivisin menetelmin vertailemalla pystylahopuuaineistoa ja Metsähallitus Metsätalous Oy:n toimittamaa paikkatietomateriaalia keskenään. Maastotarkastuksissa käytettiin kahta erikokoista neliön muotoista koealaa. Isoilla, hehtaarin kokoisilla koealoilla tarkasteltiin pystylahopuuaineiston havaintopisteiden eli pystylahopuutulkintojen oikeellisuutta ja pienemmillä, 2500 neliömetrin koealoilla selvitettiin, että kuinka suuren osan pystylahopuista pystylahopuuaineiston muodostamiseen käytetty menetelmä löysi. Kaikilta koealoilta mitattiin yleiset puustotiedot ja pystylahopuiden osalta mitattiin kaikki yli kymmenen senttimetrin rinnankorkeuslähpimitaltaan olevat pystylahopuut. Maastotarkastuksista saatuja tuloksia vertailtiin ristiin- ja frekvenssitaulukointien avulla.

Tulokset osoittivat, että kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston yleinen tarkkuus oli pieni, mutta siinä osoitetut pystylahopuuhavainnot oli tunnistettu peräti 70,8-prosenttisesti oikein. Kasvupaikkaluokalla ei havaittu olevan merkitystä pystylahopuiden löytymiseen, mutta tulosten perusteella se saattaa kuitenkin vaikuttaa oikein tunnistettujen pystylahopuiden määrään. Tutkimuksessa käytetty wildlife tree -luokitus osoittautui tärkeäksi mittariksi tarkkuutta määriteltäessä. Muissa luokissa, kuten lähpimita- ja pituusluokissa havaittiin olevan vaikutusta pystylahopuiden löytymiseen ja tunnistamiseen. Opinnäytetyön maastotarkastuksesta saatuja materiaaleja voidaan hyödyntää jatkotutkimuksissa luomalla niistä erilaisia vertailuyhdistelmiä tarkkuuteen vaikuttavien tekijöiden löytämiseksi.

Avainsanat                      biodiversiteetti, kaukokartoitus, lahopuu, laserkeilaus

Forestry  
Forestry Engineer

---

<b>Author</b>	Juha Louhenkoski	<b>Year</b>	2024
<b>Supervisor</b>	Jussi Soppela		
<b>Commissioned by</b>	Metsähallitus Metsätalous Oy		
<b>Title</b>	Accuracy of remote sensing-based standing dead tree data		
<b>Number of pages</b>	51		

---

The aim of the thesis was to produce preliminary findings on the accuracy of the Metsähallitus Metsätalous Oy's pilot project's remote sensing -based standing dead tree data for further studies. The thesis was commissioned by Metsähallitus Metsätalous Oy. The thesis investigated the overall accuracy of the remote sensing-based standing dead tree inventory, i.e. how accurately the method identifies standing dead trees from the remote sensing data. In addition, the accuracy was examined in depth for different size classes, habitats, and tree species.

The thesis was carried out using quantitative methods by comparing the standing dead tree data and the spatial data provided by Metsähallitus Metsätalous Oy. Two different type, square-shaped plots were used in the field surveys. In the larger plots, covering one hectare, the accuracy of the detection points in the standing dead tree data, i.e. standing dead tree interpretations, was examined, and in the smaller plots, covering 2500 square meters, the overall accuracy of the standing dead tree data, i.e. how large a proportion of standing dead trees the remote sensing-based method identifies, was examined. General tree data were measured for all plots and for the standing dead trees, all standing dead trees with a diameter of more than ten centimeters at breast height were measured. Results from the field surveys were compared using cross-tabulation and frequency tables.

The results showed that the overall accuracy of the remotely sensed standing dead tree data was low, but that the standing dead tree detections it showed, were correctly identified by as much as 70,8 percent. Habitat type was found to have no effect on the detection of standing dead trees, but the results showed that it may still influence the number of correctly identified standing dead trees. The wildlife tree classification used in the study proved to be an important measure of accuracy. Other categories, such as diameter and length, were found to have an impact on the detection and identification of standing dead trees. The material obtained from the field inspection of this thesis can be used in further research by creating different reference combinations to find factors affecting accuracy.

Keywords                      biodiversity, dead wood, lidar, remote sensing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	LAHOPUUN MERKITYS JA INVENTOINTI .....	7
2.1	Lahopuun merkitys ekosysteemeissä .....	7
2.2	Lahopuu hiilivarastona .....	8
2.3	Lahopuun määrä nykypäivänä ja sen lisääminen .....	8
3	KAUKOKARTOITUKSEN KEHITYS LAHOPUUINVENTOINNISSA .....	11
3.1	Nykyiset inventointikeinot Suomessa .....	11
3.2	Lentolaserkeilaus metsien inventoinnissa .....	12
3.3	Lentolaserkeilaukseen perustuvan inventoinnin eri menetelmät .....	14
3.4	Ilma- ja satelliittikuvien merkitys kaukokartoituksessa .....	15
3.5	Aiemmat tutkimukset kaukokartoitusperusteisesta lahopuuintoinnista .....	16
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	20
4.1	Tutkimuksessa tarkasteltu alue .....	20
4.2	Metsähallitus Metsätalous Oy:n keräämä paikkatietoaineisto .....	21
4.3	Pystylahopuu- ja lentolaserkeilausaineisto .....	22
4.4	Maastotarkastukset .....	24
4.4.1	Suunnittelu .....	24
4.4.2	Toteutus .....	27
5	TULOKSET .....	30
5.1	Pienemmät koealat .....	30
5.2	Isommat koealat .....	32
5.3	Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuus .....	35
5.4	Pystylahopuuaineiston tarkkuus eri mittaluokissa .....	38
5.5	Johtopäätökset .....	43
6	POHDINTA .....	45
	LÄHTEET .....	48

## 1 JOHDANTO

Euroopan Unioni on laatinut biodiversiteettistrategian ihmisen aiheuttaman luontokadon estämiseksi ja monimuotoisuuden palauttamiseksi. Yksi biodiversiteettistrategian pääkohdista on luonnonsuojelun lisääminen vanhoissa ja luonnontilaisissa metsissä, ja tällaiset metsät on kartoitettava päivitettyjen kansallisten määritelmien ja menetelmien avulla. Yksi vanhojen ja luonnontilaisten metsien tunnusmerkeistä on runsas lahopuun määrä. (Syrjänen, Korhonen, Punntila & Siitonen 2024, 3–7.)

Lahopuun määrään voidaan vaikuttaa erilaisien suojeluohjelmien, sertifiointien sekä esimerkiksi säästöpuuryhmien avulla (Saaristo, Pasanen & Arnkil 2023, 3). Jotta lahopuun määrän lisääminen olisi tasapainossa luonnon monimuotoisuuden ennallistamisen ja metsätalouden kanssa, tulee sitä seurata ja tutkia Euroopan Unionin tavoitteiden saavuttamiseksi.

Nykyään lahopuun määrää voidaan arvioida keskimääräisesti valtion metsien inventoinnin avulla, joka perustuu erilaisiin tilastoihin ja maastossa mitattuihin koealoihin (Pasanen, Siitonen, Yläne & Saaristo 2022, 4). Koealamittauksiin perustuva lahopuiden inventointi on hidasta, ja muun muassa siksi kaukokartoitusperusteisen inventoinnin kehittäminen on perusteltua. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pystylahopuun kaukokartoitusperusteisen inventoinnin tarkkuuden kehittämisen tukemiseen. Pystylahopuun inventointi kaukokartoituksen avulla voi olla tehokkaampaa ja laajamittaisempaa, mikäli sen kehittämisessä onnistutaan.

Metsähallituksella on merkittävä rooli kotimaisten metsien hallinnoimisessa (Suomen metsäkeskus 2024b). Metsähallitus Metsätalous Oy testaa kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuintoiminnan menetelmää, sillä Metsähallitus Metsätalous Oy toteuttaa vuosina 2024 ja 2025 kuolleen puun inventointeja laajoilla alueilla. Arbonaut Oy toimittaa Metsähallitus Metsätalous Oy:lle kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuintoiminnan testi- ja pilottiaineiston, joka on opinnäytetyön keskeinen aineisto. Arbonaut Oy on yritys, joka tukee muita yrityksiä ja luonnonvara-alalla toimivia tahoja metsävaratiedon keräämisessä ja ylläpitämisessä (Arbonaut Oy 2024). Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa Metsähallitus Metsätalous Oy:lle alustavat tulokset jatkotutkimusta varten.

Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään sekä vanhoista ja luonnontilaisen kaltaisista että metsätalouskäytössä olevista metsistä kerättyä kaukokartoitus- ja paikkatietoaineistoa. Inventoitava alue on laserkeilattu vuoden 2023 kesällä. Alueella on mitattu koealoja, joista saatua paikkatietoaineistoa käytetään pystylahopuuaineiston vertailuun. Opinnäytetyön optimaalisen tarkkuuden saavuttamiseksi inventointialueella tehdään maastotarkastuksia, joiden tarkoituksena on verrata pystylahopuuaineiston havaintopisteitä maastossa oleviin pystylahopuihin. Opinnäytetyön toimeksiantajana on Metsähallitus Metsätalous Oy.

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Kuinka tarkka kaukokartoitusmenetelmin tuotettu pystylahopuuaineisto on?
- Millaisissa kohteissa pystylahopuuaineiston tarkkuus on korkein?
- Kuinka paljon väärin tulkittuja puita on?

## 2 LAHOPUUN MERKITYS JA INVENTOINTI

### 2.1 Lahopuun merkitys ekosysteemeissä

Fennoskandiassa on tehty useita tutkimuksia lahopuuhun sidoksissa olevista eliölajeista, ja viime vuosikymmeninä lahopuuhun liittyvät tutkimukset ovat kasvaneet huomattavasti. Lahopuun merkitys luonnon monimuotoisuudessa on kiistaton; noin neljännes kotimaisista metsälajeista on havaittu olevan sidoksissa lahopuuhun, ja sen vaikutukset ekosysteemien rikkauteen on huomattu myös muualla maailmassa. (Siitonen 2001, 11–12.)

Kuolleen puun hajoamisprosessi kestää kymmeniä vuosia, ja sinä aikana eri metsälajit hyödyntävät sen ominaisuuksia. Hajoamisprosessi voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen kuollutta puuta asuttavien selkärangattomien eliöiden perusteella (Esseen, Ehnström, Ericson & Sjöberg 1997, 26–29). Jokaisessa prosessin vaiheessa eri eliöt, kuten kuoriaiset ja lahottajasienet asuttavat puun runkoa tuoden samalla mukanaan niistä hyötyvät kasvit ja eläimet. On kuitenkin huomattava, että lahopuun tyyppi vaikuttaa siitä hyötyvään lajistoon. Pysty- ja maalahopuilla on joitakin lajeja, jotka pystyvät hyödyntämään vain pysty- tai maalahopuun muotoja. Puun lajilla ja koolla on myös vaikutusta siihen, miten ja mitkä eliölajit voivat niitä hyödyntää. Pystyyn kuolleet ja kuivuneet puut eivät ole suotuisia elinympäristöjä lahottajasienille tai hyönteisille, mutta ovat tärkeitä eri jäkälälajeille. Sen sijaan lehtipuut ovat merkittäviä elinympäristöjä lahottajasienille ja hyönteisille. (Siitonen 2001, 22–23.)

Ympäristön eri tekijöillä ja luontaisella uudistumisella, kuten metsäpaloilla ja myrskytuhoilla on vaikutuksensa lahopuun määrään ja laatuun, mutta myös lahopuista hyötyviin lajeihin lahopuun pinnalla ja sen ympäristössä (Siitonen 2001, 23–24). Eriasteiset metsäpalot lisäävät metsissä monipuolista lahopuustoa välittömästi palon jälkeen, mutta ne lisäävät kuolleisuutta myös pitkällä aikavälillä taaten metsälajien monimuotoisuuden tarvitseman lahopuujatkumon (Perkiö, Puustinen & Similä 2011, 30–31). Metsäpalot vapauttavat kasvitilaa ja alustoja uusille lajeille kilpailtavaksi, ja siksi paloalueiden lajisto on monipuolista (Wikars 1997).

Metsiä luontaisesti muokkaavat tekijät kuuluvat metsien luonnolliseen dynamiikkaan, mutta etenkin metsäpalot ovat vähentyneet tehostuneen palontorjunnan ja metsätalouden vuoksi. Pelkästään metsäpalojen väheneminen heikentää luonnon monimuotoisuutta vahvistamalla puulajiriippuvaisten lajien asemaa lahopuiden osalta. (Wikars 1997.) Nykyään ennallistamispolttojen avulla pyritään palauttamaan metsäpalojen hyödyt rikkomaan yksipuolista elävien ja kuolleiden puiden rakennetta ja monipuolistamaan alueellista metsälajien kirjoa (Perkiö ym. 2011, 30–31).

## 2.2 Lahopuu hiilivarastona

Kotimaiset metsät ovat yksi tärkeimmistä hiilinieluista, koska kasvava puu sitoo ja varastoi hiilidioksidia koko sen elinajan (Seppälä ym. 2022, 4). Puun kuollessa siihen varastoitunut hiili säilyy puuaineksessa vuosikymmeniä, kunnes se lopulta hajoaa luontaisten prosessien myötä ja näin ollen lahopuuta ja sen määrää voidaan pitää merkittävänä osana hiilenkiertoa (Saaristo ym. 2023, 19).

Lehtonen ym. (2021, 86–87) arvioivat tutkimuksessaan hiilinielun ja lahopuun suhdetta näkökulmasta, jossa lahopuun määrä kasvaisi seuraavien vuosien aikana. Tutkimuksessa esitettiin, että jos luonnonpoistuma kangasmailla kasvaisi +50 –+100 prosenttia, hiilinielu kasvaisi vertailutasoon nähden 15,07–30,14 prosenttia vuoteen 2035 mennessä (Lehtonen ym. 2021, 87). On kiinnitettävä huomiota siihen, että vuonna 2021 metsämaa on varastoinut ilmakehästä hiilidioksidia -8,32 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv (Luonnonvarakeskus 2023a), kun taas vuoden 2035 vertailutasoksi oli arvioitu -8,36 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv (Lehtonen ym. 2021, 86–87). Näiden lukujen erotuksesta voidaan todeta, että luonnonpoistumaa eli lahopuuta tarvitaan metsämaiden hiilivaraston kasvattamiseksi ja ylläpitämiseksi.

## 2.3 Lahopuun määrä nykypäivänä ja sen lisääminen

Maa- ja metsätalousministeriön Kansallinen metsästrategia 2035 -hanke on asettanut tavoitteeksi kasvattaa kuolleen puun määrää talousmetsissä kymmeneen kuutiometriin hehtaarilla (Maa- ja metsätalousministeriö 2023, 51). Metsänomis-



tajilla on suuri vastuu lahopuun määrän lisäämisessä, mutta myös metsäpalveluita tarjoavilla yrityksillä on velvollisuus lisätä lahopuuhun liittyvää tietoutta kertomalla siitä asiakkailleen (Saaristo ym. 2023, 20–21).

Talousmetsissä lahopuiden määrää voidaan lisätä ottamalla ne huomioon metsäsuunnittelussa ja käytännön toteutuksessa. Olemassa olevat lahopuut voidaan jättää metsään energiapuuksi keräämisen sijaan, ja hakkuissa vältetään maalahopuiden tuhoutumista. Keinot, joilla tasaikäisrakenteisia metsiä hoidetaan, voivat olla haitaksi lahopuun säilymiselle, ja siksi talousmetsissä tulisi suosia jatkuvan kasvatuksen menetelmiä. Jatkuvan kasvatuksen menetelmissä metsässä on aina eri-ikäisrakenteista puustoa, joka turvaa erilaisten lahopuiden syntymisen. (Maa- ja metsätalousministeriö 2024.) Järeät säästöpuut, eri-ikäisrakenteiset säästöpuuryhmät ja tekopökkelöt ovat yleisiä keinoja taata lahopuun olemassaolo talousmetsissä (Saaristo ym. 2023, 3). Erityisesti erikokoiset säästöpuut ja monipuoliset säästöpuuryhmät luovat metsään lahopuujatkumoa, joka on edellytys lahopuista hyötyvien lajien monimuotoisuudelle (Saaristo 2011, 19; Virnes, Similä & Junninen 2011, 54).

Lisäksi PEFC- ja FSC-metsäsertifiointijärjestelmät ohjaavat metsänomistajia ja yrityksiä asettamalla vaatimukset lahopuun lisäämiseksi. Metsäsertifikaatit asettavat lahopuille mittavaatimukset, joiden perusteella ne lasketaan sertifikaatin täyttämäksi lahopuiksi. Metsäsertifioinneissa kiinnitetään lahopuun mittavaatimusten lisäksi huomiota myös elävien puiden ominaisuuksiin, joiden perusteella elävä puu tulee jättää hakkuiden ulkopuolelle. Elävä puu tulee säästää, mikäli se on esimerkiksi erityisen suurikokoinen, siinä on koloja tai siinä on petolintujen pesimisen merkkejä. Myös elävän puun laji ja muoto voi asettaa sen hakkuiden ulkopuolelle. Esimerkiksi järeät katajat, tervalepät ja suuret haavat ovat sellaisia puita, jotka tulee säästää hakkuissa monimuotoisuuden turvaamiseksi. Tällaiset elävät puut ovat tärkeitä luonnon monimuotoisuudelle, mutta ne myös monipuolistavat kuollessaan lahopuuston ominaisuuksia ja niiden myötä lahopuustoa tarvitsevaa lajistoa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2024.)

Viimeisimmässä valtion metsien inventoinnin raportissa lahopuun keskitilavuudeksi arvioitiin 5,7 kuutiometriä hehtaaria kohden. Tämä keskitilavuus oli laskettu vertailemalla talousmetsien, suojeltujen metsien ja turvemaiden lahopuustoa.

Selkeästi eniten lahoppuuta on suojelluissa metsissä ja vähiten turvemailla, vaikka elävän puuston keskitilavuudessa ei ollut suuria eroja. Pystylahoppuiden osuus arvioidusta lahoppuun keskitilavuudesta oli 1,6 kuutiometriä hehtaarilla. Inventoinnissa havaittiin, että kuolleiden puiden lahoaste pystypuiden osalta oli pääasiassa kovaa ja vain murto-osa pystypuista oli lahonnut pehmeäksi. Maalahoppuiden tilavuuden osalta lahoamisaste oli jakautunut tasaisemmin. (Korhonen ym. 2021, 40–41.)

Lahoppuun määrässä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia vuosien 1999 ja 2021 välillä. Kuitenkin Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen lahoppumääriä verrattaessa etelässä lahoppuun määrä on kasvanut ja pohjoisessa on tapahtunut laskea. Syyksi tälle erolle on esitetty viime vuosikymmenten myrskytuhot Etelä-Suomessa sekä niiden puute pohjoisessa. Myös säästöpuuryhmien lisääminen ja luontokohteiden suojeleminen ovat mahdollisesti lisänneet lahoppuun määrää. (Saaristo ym. 2023, 15–16.)

### 3 KAUKOKARTOITUKSEN KEHITYS LAHOPUUINVENTOINNISSA

Nykyään metsiä inventoidaan kaukokartoitusmenetelmien ja maastoinventointien avulla. Kaukokartoitusmenetelmillä tarkoitetaan kohteen ominaisuuksien kartoittamista laserkeilausten sekä ilma- ja satelliittikuvatulkinnan avulla. Niiden apuna käytetään erilaisia laskentamalleja ja maastossa kerättyä aineistoa, joka on peräisin esimerkiksi koealamittauksista tai jonkin muun toimenpiteen, kuten metsäsuunnittelun yhteydessä kerätystä metsävaratiedosta. Kaukokartoitus mahdollistaa metsien ja muiden kohteiden visuaalisen ja analyttisen tarkastelun ilman, että kohdetta tarkastettaisiin fyysisesti. Kaukokartoittaminen vähentää laaja-alaisten ja aikaa vievien maastokoealamittausten tarvetta, mutta ei kuitenkaan poista niitä kokonaan, koska niistä saadaan oleellista referenssimateriaalia kaukokartoitusmenetelmien tueksi. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, 5, 7–9.)

#### 3.1 Nykyiset inventointikeinot Suomessa

Suomen metsäkeskus ja Luonnonvarakeskus ovat merkittäviä metsävaratiedon kerääjiä, mutta sitä keräävät myös eri yhdistykset sekä yksityissektorin yritykset ja yhtiöt (Kjellberg 2023). Luonnonvarakeskuksen toteuttama valtakunnan metsien inventointi on yksi suurimmista metsävaratiedon keräyskeinoista. Valtakunnan metsien inventointi toteutetaan viiden vuoden sykleissä, joista viimeisin VMI13 on toteutettu vuosina 2019–2023. Metsävaratieto sisältää tietoa muun muassa metsien rakenteesta, lajisuhteista, terveydestä sekä monimuotoisuuden tilasta, joka käsittää myös lahopuun määrän ja laadun alueella. (Luonnonvarakeskus 2023b.) Kaukokartoitusmenetelmät ovat maastomittausten lisäksi tapa kerätä metsävaratietoa (Kjellberg 2023), mutta tässä osiossa tarkastellaan ainoastaan maastomittausmenetelmiä.

Suomen metsäkeskuksella on metsätietolain määrittelemä velvollisuus kerätä ja käsitellä metsävaratietoa (Laki Suomen metsäkeskuksesta 2016/1326 § 3:8), mutta Suomen metsäkeskus ei kuitenkaan kerää metsävaratietoa lahopuun osalta. Suomen metsäkeskus on kuitenkin toteuttamassa Kuolleen puun seurantamenetelmän kehittäminen -hanketta, jonka tavoitteena on kehittää laserkeilausperusteista lahopuuiinventointia (Suomen metsäkeskus 2024a).

Monimuotoisuuden seuraamisen tärkeys on tunnustettu jo viime vuosituhanella, ja vuodesta 1996 monimuotoisuusindikaattorien inventointi on ollut mukana valtakunnan metsien inventoinnissa. Monimuotoisuutta arvioidaan valtakunnan metsien inventoinnissa sen säilymismahdollisuuksiin vaikuttavien tekijöiden seurannalla. Lahopuun määrä ja laatu kuuluvat näihin tekijöihin puustorakenteen ja avainbiotooppien ohella. (Tomppo, Tonteri & Tuomainen 1997, 36–38.)

Valtakunnan metsien inventoinnissa käytetään niin sanottua ryvästysperiaatetta, jossa ryväryhmä kattaa 12 x 12–20 x 20 neliökilometriä ja jokaisessa ryvässä on 8–11 kiinteäsäteistä tai relaskooppikoealaa 250–300 metrin välein riippuen alueen ja puuston ominaisuuksista. Osa näistä ryväryhmistä on pysyviä ryhmiä, jotka inventoidaan jokaisessa inventointisyklissä, ja niiden lisäksi on sekä uusia pysyviä ryhmiä että kertaryväryhmiä. Kiinteäsäteisten koealojen säde vaihtelee elävien puiden rinnankorkeusläpimitan mukaan; 45–94 millimetrin läpimittaluokassa säde on 4,00 metriä ja vähintään 95 millimetrin läpimittaluokassa 9,00 metriä. Kiinteäsäteisten koealojen teoreettinen pinta-ala on 343–784 hehtaaria. Alle 45 millimetriä paksut puut mitataan vain relaskooppikoealalla, ja sen kertoimena käytetään 1,5:ttä. Lahopuukoealalla kiinteäsäteisen koealan säde on seitsemän metriä, ja sellaisella koealalla mitataan kaikki pysty- tai maalahopuut, jotka ylittävät sata millimetriä rinnankorkeusläpimitassa. Lahopuista mitataan muun muassa puulaji, luokka (pystypuu, maapuu), rinnankorkeusläpimita ja pituus. Lahopuista kirjataan myös tarkentavia tietoja, joiden avulla voidaan seurata niiden kehitystä seuraavilla inventointikerroilla. (Korhonen 2024.) Valtakunnan metsien 12. inventoinnissa vuosina 2014–2018 koealoja mitattiin 64 579 kappaletta (Korhonen ym. 2021, 3).

### 3.2 Lentolaserkeilaus metsien inventoinnissa

Lentolaserkeilaus on ilmasta tapahtuvaa mittausta, jossa ilma-alukseen kiinnitetty laserkeilauslaitteisto lähettää ja vastaanottaa kohteeseen suunnattuja laserpulsseja. Koska valon nopeus tiedetään, laserkeilaimen ja kohteen etäisyys voidaan laskea laserpulssin matka-ajan perusteella. Laserkeilaimen sijaintitiedon, asennon ja laserpulssin matkan avulla voidaan laskea kohteen kolmiulotteinen koordinaattiarvo. Näistä tuloksista syntyy kolmiulotteinen pistepilviaineisto, jota

voidaan käyttää eri sovelluksissa, kuten metsätaloudessa puustotunnusten arvioinnissa. (Holopainen ym. 2013, 11–13; Viitala & Paananen 2014, 18.)

Lentolaserkeilaukseen liittyy erilaisia parametreja, jotka vaikuttavat mittauksesta saatujen tulosten luonteeseen ja laatuun. Yksi tärkeimmistä on pistetiheys, joka kuvastaa, kuinka monta pulssia laserkeilainlaitteisto lähettää kohteeseen neliometriä kohden. Pulssimäärän kasvattaminen lisää laserkeilauksesta saatua tarkkuutta tehostamalla yksittäisten kohteiden erotustarkkuutta. Pistetiheys voi olla esimerkiksi 0,5–50 pulssia neliometriä kohden, mutta korkealla pistetiheydellä voi olla kielteinen vaikutus mittauksen kustannuksiin. Laitteiston muut asetukset ja maaston ominaisuudet voivat joko parantaa tai heikentää pulssien palaamista laserkeilaimen aiheuttaen muutoksia tulosten laatuun. (Holopainen ym. 2013, 12–13, 17–21.) Maanmittauslaitoksen toteuttamassa kansallisessa laserkeilausohjelmassa oli käytössä 0,5 pisteen tiheys neliometriä kohden vuosien 2008–2019 aikana, mutta pistetiheys nostettiin vuonna 2020 viiteen pisteeseen neliometriä kohden. Aiempaa, matalampaa pistetiheyttä käytetään kuitenkin toissijaisena pistetiheytenä. (Maanmittauslaitos 2024.) Myös Suomen metsäkeskus käyttää viittä pistettä neliometriä kohden (Suomen metsäkeskus 2024c).

Puiden rakenne voi aiheuttaa laserpulssin jakautumisen useammaksi paluukaiuksi. Osa laserpulssista osuu kohteen ylimpiin osiin ja palautuu keilauslaitteistoon. Loput samasta laserpulssista jakautuvat siitä seuraaville tasoille, kunnes viimeinen laserpulssin osa saavuttaa maaperän ja palautuu laserkeilauslaitteeseen. Jakautuminen mahdollistaa eri tasojen ja yksityiskohtien havaitsemisen, mutta toisaalta se aiheuttaa laserpulssin heikkenemisen, mitä useammaksi osaksi se jakautuu. (Holopainen ym. 2013, 20–21.)

Pistetiheyden lisäksi keilaus- ja lentokulma ja laserkeilauksen jonoleveys vaikuttavat mittaustulosten tarkkuuteen. Niistä jokaisen erillinen korostaminen tarkoittaa kompromissia muiden parametrien suhteen. Jokaisen parametrin korostamisen valitseminen perustuu mittaustulosten käyttötarkoitukseen. (Holopainen ym. 17–20.)

Lentolaserkeilauksessa muodostuva pistepilvi voidaan jakaa erilaisiksi pintamalleiksi eri käyttötarkoitusten mukaan. Yleensä pistepilvestä erotetaan maan pin-

nan ja korkeiden kohteiden pintamallit. Korkeiden kohteiden pintamallista voidaan havainnoida maan pinnan yläpuolella olevia korkeuseroja suhteessa merenpintaan. Esimerkiksi puut, kivet ja rakennukset ovat kohteita, jotka aiheuttavat korkeuseroja. Maan pinnan pintamallissa havainnoidaan ainoastaan paljaan maan pinnan korkeuseroa suhteessa merenpintaan. Näistä kahdesta pintamallista voidaan erottaa latvusmalli, joka havainnollistaa maan pinnan ja sen yläpuolella olevien objektien erotuksen. (Jafarbiglu & Pourreza 2022, 17.)

### 3.3 Lentolaserkeilaukseen perustuvan inventoinnin eri menetelmät

Lentolaserkeilaukseen perustuvaa inventointia toteutetaan niin sanottujen yksinpuintulkinnan ja aluepohjaisen menetelmän avulla. Yleisesti käytössä olevassa aluepohjaisessa menetelmässä yhdistetään laserkeilausmateriaali, maastokoealojen tulokset ja ilmakuvista saatu informaatio, joiden avulla puustotiedot lasketaan alueelle. (Juntunen 2013, 4.) Tässä menetelmässä laserkeilattava alue jaetaan hilaruuduiksi, joiden yksittäinen pinta-ala on yleensä 256 neliometriä. Alue voidaan jakaa myös metsikkökuvioksi, joka on hilaruutua isompi. Aluepohjainen menetelmän tarkkuus on riippuvainen erityisesti inventoitavan alueen maastokoealojen laadusta, koska puustotunnukset ennustetaan niiden mukaan laserkeilatuille hilaruuduille. Käytettyjen laserkeilausparametrien ja maastokoealojen mallinnustulokset ennustetaan aineistokohtaisesti, koska laserpiirteet vaihtelevat laserparametrien muuttuessa. (Holopainen ym. 2013, 27–29.)

Yksinpuintulkinnassa yksittäiset puut erotellaan ilmakuvamittauksen ja laserpistepilven avulla. Laserpistepilven tuottama latvusmalli suodatetaan erottelun tarkentamiseksi, ja sen jälkeen puut voidaan erotella lokaalin maksimin ja segmentoinnin avulla. Lokaali maksimi on tässä tapauksessa puun pituus, ja sen sijainti määrittää puun sijainnin. (Holopainen ym. 2013, 27–28.) Yksinpuintulkinta ja nykyinen tiheämpi pistetiheys mahdollistavat yksityiskohtaisemman metsäsuunnittelun puuyksilötasolla (Metsälehti 2023). Yksinpuintulkinnan avulla voidaan tarkastella esimerkiksi puuyksilön monimuotoisuusarvoja ja arvioida tarkemmin sen sitoman hiilen määrää, mutta tällä menetelmällä ei saada kattavaa tietoa puustotunnuksista laajalla alueella, ja siksi yksinpuintulkinnan lisäksi tarvitaan myös aluepohjaisella menetelmällä kerättyä tietoa (Maanmittauslaitos 2023).

### 3.4 Ilma- ja satelliittikuvien merkitys kaukokartoituksessa

Ilma- ja satelliittikuvia on hyödynnetty Suomessa jo viime vuosisadan alkupuolella. Ilmakuvaaminen otettiin Suomessa kartoituskäyttöön vuonna 1948, ja se loi pohjan kaukokartoitusperusteiselle luonnonvarojen kartoittamiselle. (Päivänen 2010, 86.) Vuonna 1972 otettiin käyttöön ensimmäinen Landsat-satelliitti, jonka ensisijainen käyttötarkoitus oli kartoittaa luonnonvaroja satelliittikuvauksen keinoin. Landsat-satelliitin toiminta ei rajoittunut vain Suomeen, vaan sen tuottamia kuvia hyödynnettiin kansainvälisellä tasolla. (Holopainen ym. 2015, 35.) Nykyään maapalloa kiertää kaksi Landsat-satelliittia, Landsat 9 ja Landsat 8, jotka ottavat maanpinnasta päivittäin satoja kuvia, joita hyödynnetään luonnonvarojen seurantaan ja valvontaan (Landsat Science 2024). Luonnonvarojen kartoittamiseen on olemassa muitakin satelliitteja, mutta Landsat on näistä yleisin luonnonvarojen kaukokartoituksessa (Holopainen ym. 2015, 35).

Ilma- ja satelliittikuvat hyödyntävät silmälle näkyvän valon ja lähi-infrapun säteilyaallonpituusalueita. Eri valon ja lähi-infrapun aallonpituuksilla voidaan kartoittaa laajalla alueella maanpinnan kasvillisuudessa tapahtuvia muutoksia ja muutoksia, joita ei voida havaita maastotarkastusten keinoin esimerkiksi haastavan saavutettavuuden vuoksi. Erilaisten muutosten lisäksi etenkin lähi-infrapun aallonpituuksien avulla voidaan arvioida alueen kasvillisuutta sekä puulajisuhteita. Elävä kasvillisuus säteilee lähi-infrapuna punaisen eri sävyillä ja niiden avulla esimerkiksi puulajisuhteiden erottaminen on mahdollista. (Holopainen ym. 2015, 34–35.)

Eri kuvamateriaalien tarkkuutta kuvataan usein sanalla resoluutio, joka antaa käsityksen kuvan sisältämän informaation määrästä. Erilaisten informaatioluokkien määrän kuvaamiseen käytetään erilaisia resoluutiotermejä. Näistä luokista käytetyimmät ovat spektrinen, radiometrinen, temporaalinen sekä spatiaalinen resoluutio. Spektrinen resoluutio kuvastaa valon ja infrapun aallonpituuksia, radiometrinen lämpötilaeroja, temporaalinen säteilyn aikaan sidoksissa olevia muutoksia ja spatiaalinen resoluutio kertoo kuvassa eroteltavien kohteiden koon. Geometrinen tarkkuus ilmentää kuvan kohteiden sijaintitarkkuutta maastossa. (Holopainen ym. 2015, 34.)

Nykypäivänä ilmakehuvausmenetelmällä tuotettavia digitaalisia numeerisia kuvia kutsutaan ortoilmakuviksi ja lähi-infrapunalla kuvattuja ilmakehuja vääräväriortokuviksi. Digitaalisten numeeristen ilmakehujen etu on, että ne voidaan muuntaa eri koordinaatteihin sopiviksi, jolloin niitä voidaan käyttää esimerkiksi karttoina erilaisten suunnittelutoimenpiteiden tukena. Lisäksi ilmakehujen spatiaalinen resoluutio on satelliittikuviin verrattuna huomattavasti tarkempaa. Tarkimmillaan ilmakehuvan sijaintitarkkuus voi olla 0,05 metriä. (Holopainen ym. 2015, 34–35, 42.)

Satelliittikuvat koostuvat keilaamalla kerätyistä lämpö- ja monikanavamateriaaleista. Ilmakehuvauksen tavoin satelliittikuvauksessa havaintovälineistö kerää havaintoja näkyvän valon aallonpituusalueelta ja lähi-infrapunasta, mutta myös keski-infrapunasta ja lämpösäteilyistä. Satelliiteilla toteutettu kaukokartoitus mahdollistaa laajojen alueiden kartoittamisen useilla eri kanavilla, ja siitä on apua esimerkiksi suurten alueiden metsäsuunnittelussa. (Holopainen ym. 2015, 36–37, 43.)

### 3.5 Aiemmat tutkimukset kaukokartoitusperusteisesta lahoppuuintoinnista

Kaukokartoitusperusteisesta lahoppuuintoinnista on tehty tutkimuksia ympäri maailmaa ja tähän tarkasteluun valikoitui tutkimuksia, joissa pääasiallinen kehityksen kohde on ollut lentolaserkeilausaineiston hyödyntämien muiden kaukokartoitusmenetelmien tukemana. Tässä osiossa tarkastellaan vuosien 2008–2023 välisenä aikana tehtyjä tutkimuksia, niiden eroja ja yhtäläisyyksiä.

Kaikkien tutkimuksien yhteinen päämäärä on ollut kehittää lahoppuun inventointia kaukokartoitusmenetelmin. Näkökulmat kuitenkin vaihtelivat tutkimusten välillä, sillä osa tutkimuksista keskittyi ainoastaan pystylahoppuihin (Bater, Coops, Gergel & LeMay 2009; Amiri, Krzystek, Heurich & Skidmore 2019; Jutras-Perreault, Næsset, Gobakken & Ørka 2023), kun taas Pesonen, Maltamo, Eerikäinen ja Packalèn (2008) tutkivat sekä maa- että pystylahoppuuintointia. Itä-Suomessa toteutetussa tutkimuksessa tutkittiin elävien ja kuolleiden säästöpuiden erottelua lentolaserkeilauksen ja vääräväriortokuvien avulla (Hardenbol, Korhonen, Kukkonen & Maltamo 2022). Stitt, Hudak, Silva, L.A. Vierling ja K.T Vierling (2021)



testasivat lentolaserkeilausperusteistamennetelmää kelojen ja elävien puiden latvusaukkojen erottelemiseen ja tunnistamiseen tavoitteenaan todistaa, että kelojen ympärillä on eläviä puita enemmän latvusaukkoja.

Tutkimuksissa on käytetty erilaisia maastomittausmenetelmiä. Pääasiallisina koealamenetelminä ovat olleet erikokoiset ympyräkoealat (Pesonen ym. 2008, 3290; Amiri ym. 2019, 6; Stitt ym. 2021, 475; Jutras-Perreault ym. 2023, 210), mutta myös suorakulmion muotoisia on käytetty (Bater ym. 2009, 1083). Pesonen ym. (2008, 3290) hyödynsivät ympyräkoealojen lisäksi myös neliön muotoisia koealoja. Kuolleiden puiden vähimmäisläpimitta vaihteli 5–15 senttimetrin välillä ja kaikissa tutkimuksissa määriteltiin läpimitan lisäksi pituus ja puulaji (Pesonen ym. 2008, 3290; Bater ym. 2009, 1083; Amiri ym. 2019, 6; Hardenbol ym. 2022, 1612; Stitt ym. 2021, 475; Jutras-Perreault ym. 2023, 210). Baterin ym. (2009) tutkimuksessa joka viidennestä puusta mitattiin myös latvusmitta ja he määrittivät sekä eläville että kuolleille puille wildlife tree -luokan, joka kuvasti puuyksilön terveys- ja rakennepiirteitä. Latvusmitan avulla oli määritetty puuyksilön latvuksen muoto ja tiheys. Latvusmitat oli mitattu, koska latvuksen muodon ja tiheyden oli todettu vaikuttavan metsän rakenteeseen ja sen vuoksi myös laserkaikujen jakautumiseen. (Bater ym. 2009, 1090.)

Lentolaserkeilauksissa käytetyt pulssitiheydet poikkesivat tutkimuksissa toisistaan. Tutkimuksissa oli käytetty pääsääntöisesti 4–7,1 pulssipistettä neliometriä kohden (Pesonen ym. 2008, 3290; Stitt ym. 2021, 477; Hardenbol ym. 2022, 1610; Jutras-Perreault ym. 2023; 208), mutta Amirin ym. (2019, 4) tutkimuksessa käytettiin kolmea eri laitetta lentolaserkeilaukseen, ja näiden keskimääräinen pulssitiheys oli jopa 80 pulssipistettä neliometriä kohden. Käytetty pulssitiheys on poikkeuksellisen korkea verrattuna muihin tutkimuksiin ja Suomessa käytettyyn pulssitiheyteen.

Amirin ym. (2019, 4) tutkimuksessa käytettyjen laitteiden laserien aallonpituudet olivat 532, 1064 ja 1550 nanometriä. Muissa tutkimuksissa laserin aallonpituus oli 1064 nanometriä (Stitt ym. 2021, 477; Hardenbol ym. 2022, 1613; Jutras-Perreault ym. 2023), mutta vuosien 2008 ja 2009 tutkimuksissa aallonpituutta ei mainittu (Pesonen ym. 2008; Bater ym. 2009). Vuoden 2019 tutkimuksessa (Amiri ym. 2019, 1) kolmesta käytetystä aallonpituudesta havaittiin 1064 nanometrinen

olevan tarkin puulajien sekä pystylahopuiden erottelussa, ja tällä tuloksella voidaan arvella olevan vaikutusta myöhemmissä tutkimuksissa käytettyihin laserien aallonpituuksiin. Vuosien 2021–2023 tutkimuksien raporteissa ei kuitenkaan ole mainittu perusteluita aallonpituuden valinnalle, eikä näin ollen lähteissäkään ole mainintaa vuoden 2019 tutkimuksen tuloksista (Stitt ym. 2021; Hardenbol ym. 2022; Jutras-Perreault ym. 2023).

Pesosen ym. (2008, 3288) tutkimuksessa todettiin, että maalahopuita voitiin inventoida lentolaserkeilausmenetelmällä, mutta pystylahopuiden osalta ei saavutettu riittävää tarkkuutta. Tässä tutkimuksessa puustotiedot kerättiin myös eläviltä puilta, mutta niiden käyttäminen maalahopuun määrän arvioinnissa kuitenkin heikensi lopputulosta (Pesonen ym. 2008, 3293).

Kuolleiden puiden rakennetta käsittelevissä tutkimuksissa oli havaittavissa kehitystä kymmenen vuoden aikana. Baterin ym. (2009, 1089–1090) tutkimuksessa lentolaserkeilauksen todettiin olevan kehityskelpoinen työkalu elävien ja kuolleiden puiden terveys- ja rakennepiirteiden arvioimiseen. Vuoden 2019 tutkimuksessa (Amiri ym. 2019, 1) tavoiteltiin lentolaserkeilauksen avulla tehtävää erotte- lua eri havu- ja lehtipuulajien sekä kuolleiden kuusien välillä. Sekä elävien että kuolleiden puiden lentolaserkeilausperusteinen arvio oli tarkin käytettäessä 1064 nanometrin aallonpituutta (74 prosentin tarkkuus), mutta kun kaikki kolme tutki- muksessa käytettyä aallonpituutta yhdistettiin, tulos parani 8–17 prosenttia. Pelk- kien kuolleiden pystypuiden osalta tarkkuus oli kaiken kaikkiaan 76 prosenttia. Lajikohtaisen erottelun todettiin olevan vielä epätarkkaa, mutta havu- ja lehtipui- den erottelu oli riittävällä tarkkuustasolla. (Amiri ym. 2019, 1, 4, 12.) Tutkimuk- sessa osoitetaan, että moniaallonpituudella toteutettu puustoarvio kuolleine pui- neen mahdollistavat yksityiskohtaisen metsien kartoituksen (Amiri ym. 2019, 1), mutta on kuitenkin huomattava, että tutkimuksessa on käytetty huomattavasti ti- heämpää pulssitiheyttä kuin kotimaisessa laserkeilauksessa.

Vuoden 2021 tutkimuksessa testattu menetelmä elävien ja kuolleiden puiden lat- vusaukkojen erotteluun viittasi siihen, että menetelmä on käyttökelpoinen lat- vusaukkojen määrän arvioimiseen yksittäisten puiden osalta, ja lentolaserkeilaus on potentiaalinen kehityskohde latvusaukkojen tulkintakeinojen laajentamisessa (Stitt ym. 2021, 473). Hardenbolin ym. (2022, 1615) tutkimuksessa elävien ja

kuolleiden säästöpuiden löytämisessä onnistuttiin kaiken kaikkiaan 65,7 prosentin tarkkuudella. Yksinpuinmenetelmällä toteutettu tutkimus saavutti 41,7 prosentin tarkkuuden kuolleiden puiden osalta ja elävien puiden osalta tarkkuus oli 83,8 prosenttia (Hardenbol ym. 2022, 1615).

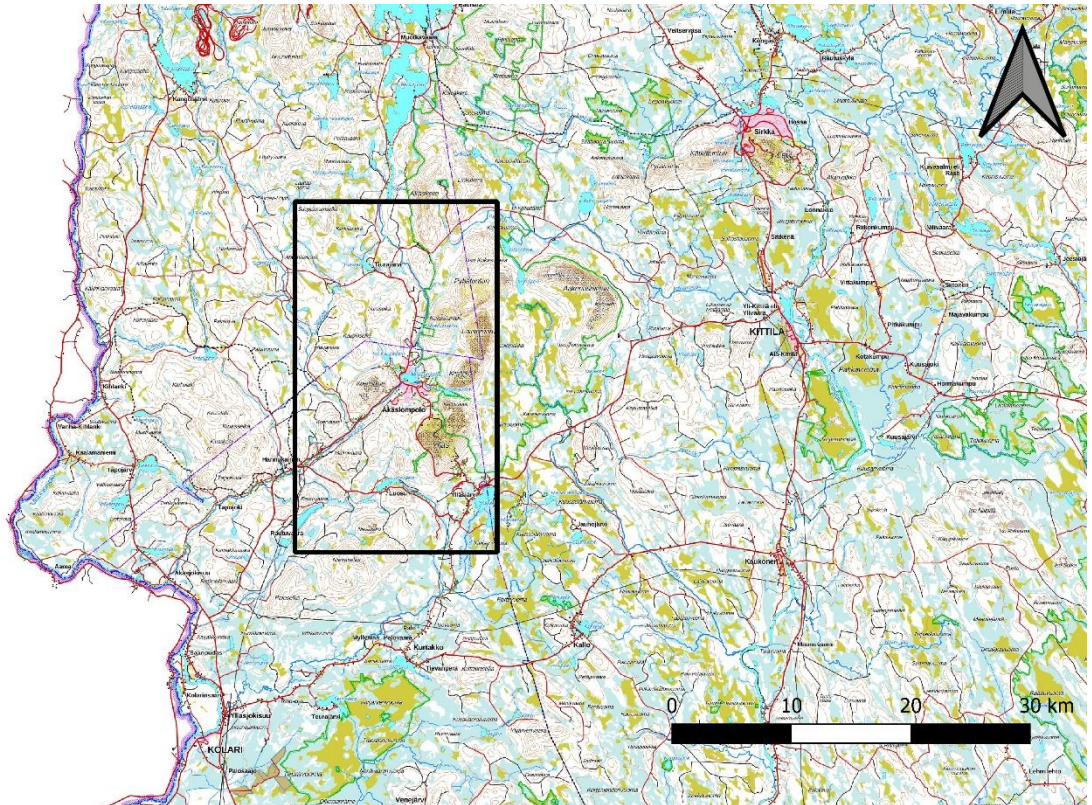
Etelä-Norjassa toteutetun tutkimuksen tavoitteissa on yhtäläisyyksiä Metsähallitus Metsätalous Oy:n pilottihankkeen kanssa. Jutras-Perreault ym. (2023, 212–213) testasivat lentolaserkeilaus- ja ilmakuvaperusteista pystylahopuuhavainnointia aluepohjaisin sekä yksinpuintulkinnan menetelmin. Aluepohjaista menetelmää kokeiltiin yhdessä logistisen regression kanssa, mutta sillä ei saavutettu merkittäviä tuloksia puutteellisen maastoaineiston vuoksi. Sen sijaan yksinpuintulkinnan ja paikallisen maksimin yhtälön avulla onnistuttiin erottelemaan puut toisistaan ja kasvillisuusindeksin avulla ne määriteltiin eläviksi ja kuolleiksi. Tutkimuksessa saavutettiin 18–42 prosentin tarkkuus maastoaineistoon verrattaessa. (Jutras-Perreault ym. 2023, 213–217.)

## 4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuutta arvioitiin tässä opin-  
näytetyössä kvantitatiivisin tutkimusmenetelmin maastossa kerättyjen havainto-  
jen perusteella. Arbonaut Oy:n toimittamaa pystylahopuuaineistoa verrattiin Met-  
sähallitus Metsätalous Oy:n keräämiin paikkatietoaineistoihin QGIS-paikkatieto-  
ohjelman avulla. Tämän aineistovertailun perusteella toteutettiin maastotarkastus  
Äkäslompolon alueella. Maastotarkastuksen tuloksista koostettiin alustavat ha-  
vainnot kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuudesta.

### 4.1 Tutkimuksessa tarkasteltu alue

Metsähallitus Metsätalous Oy:n pilottihankkeessa tutkittava alue sijaitsee Äkäslompolossa (kuvio 1) ja sitä rajattiin tätä opinnäytetyötä varten siten, että maastotarkastusten toteutus oli saavutettavuuden kannalta käytännöllistä. Rajattu alue oli 497 neliökilometriä, ja siellä olevat metsät ovat pääasiassa vanhoja, luonnon-  
tilaisia tai sen kaltaisia metsiä. Alueella on harjoitettu metsätaloutta, mutta maastotarkastuksen koealat sijoittuivat suurimmaksi osaksi vanhoihin ja luonnontilaisen kaltaisiin metsiin.

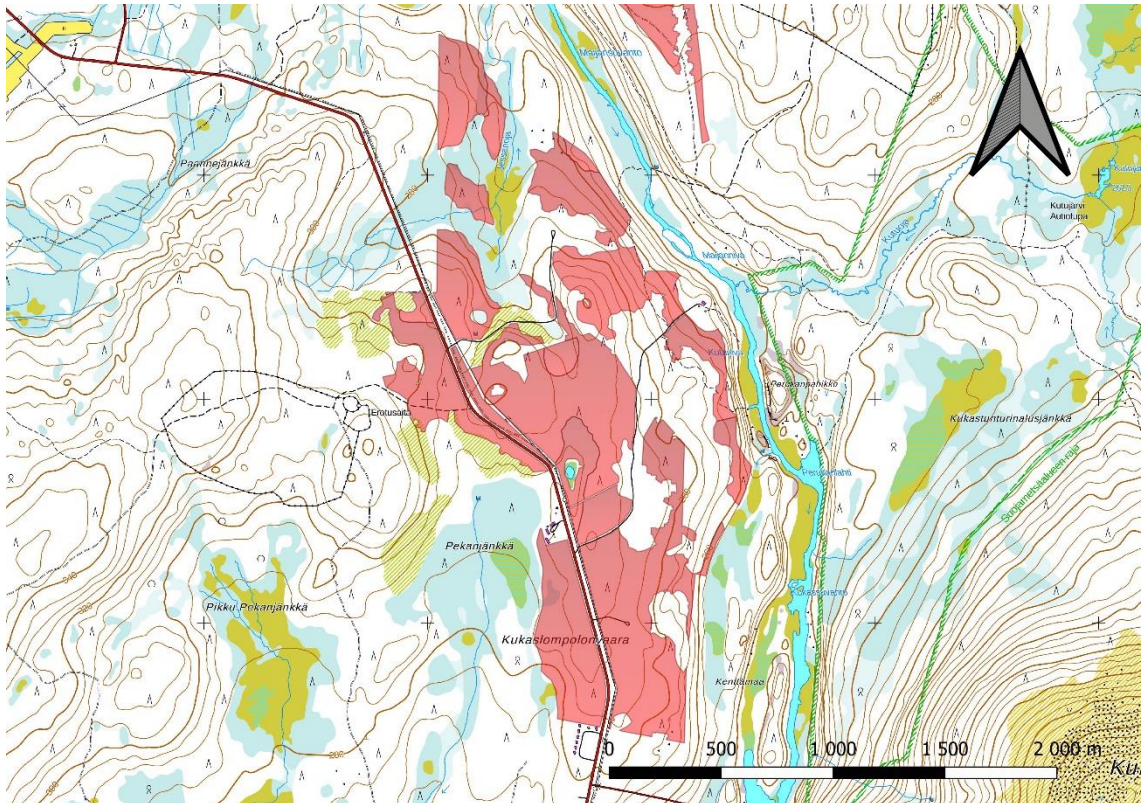


Kuvio 1. Yleiskartta maastotarkastettavasta alueesta

Alueen kasvupaikkaluokat jakautuivat kuivien ja tuoreiden kankaiden välille sekä niitä vastaaville turvemaille. Suurin osa alueesta on kuivahkoja ja tuoreita kankaita, joiden pääpuulaji on mänty. Maastotarkastetut metsät olivat varttuneita tai uudistuskypsiä metsiä, mutta alueella oli myös erämaankaltaisia eri-ikäisraken- teisiä metsiä.

#### 4.2 Metsähallitus Metsätalous Oy:n keräämä paikkatietoaineisto

Metsähallitus Metsätalous Oy mittasi alueen puustotiedot kesällä 2023. Puustotiedot mitattiin ympyräkoealojen sekä kaistalemittausten avulla ja näistä mittaus- tuloksista muodostettiin puusto- ja lahopuutiedot isommille kuvioille (kuvio 2). Kaistalemittauksessa ennakkoon määritetyn kokoisella kaistalla mitattiin kaikki sen sisälle jääneet lahopuut. Puustotiedot sisälsivät kasvupaikkaluokan, pääpuu- lajin, iän, elävän ja kuolleen puuston hehtaarikohtaisen kuutiomäärän.



Kuvio 2. Esimerkkiotanta Metsähallituksen mittaamista kuvioista

Metsähallitus toimitti kuviotiedot opinnäytetyötä varten, ja niitä hyödynnettiin maastotarkastusten suunnittelussa. Valmiit puustotiedot mahdollistivat tarkemman koealasijoittelun mahdollisimman laajan otannan saavuttamiseksi. Puuston ikä, kasvupaikkaluokka ja lahpuun olemassaolo olivat keskeisimmät tiedot, joita käytetiin suunnittelussa.

#### 4.3 Pystylahopuu- ja lentolaserkeilausaineisto

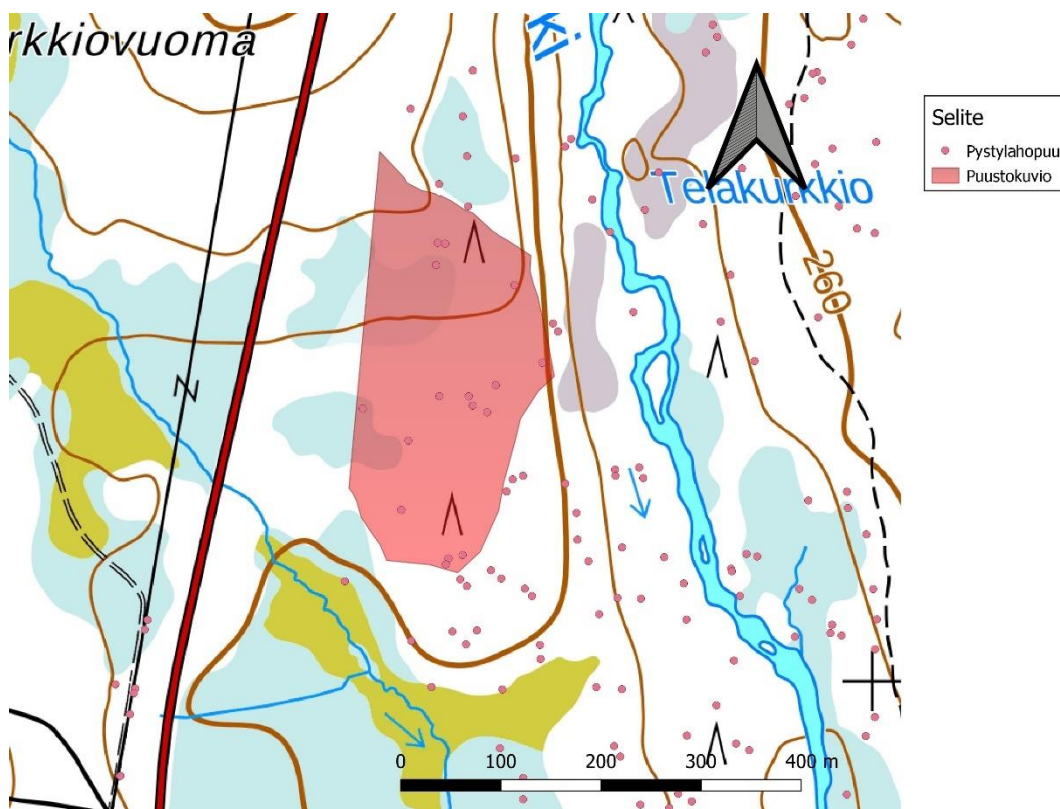
Opinnäytetyössä tarkastelussa oleva pystylahopuuaineisto on Arbonaut Oy:n koostama. Arbonaut Oy loi pystylahopuuaineiston Suomen metsäkeskuksen mittaamien puukarttakoealatietojen ja Maanmittauslaitoksen lentolaserkeilausaineiston avulla. Pystylahopuuaineiston luomisessa oli käytetty random forest -algoritmia sekä watershed- ja region growing -menetelmien avulla segmentoitua latvusmallirasteria. (Torppa 2024.)

Pystylahopuiden erottelu aloitettiin segmentoimalla latvusmalli polygoneiksi korkeimman pisteen määrittämisellä, joka tässä tapauksessa oletettiin olevan korkeimman puun latva. Watershed-menetelmää käytetään yleensä valuma-alueiden määrittämiseen, mutta Arbonaut Oy hyödynsi tätä menetelmää korkeimman

puun latvuksen muodon rajaamisessa. Region growing -menetelmä luo pikseliryhmiä rasteritasolle sille määritellyn säteen perusteella. Tässä tapauksessa sen avulla pystyttiin tarkentamaan latvuksen polygonia entisestään esimerkiksi sellaisissa tapauksissa, joissa puussa oli selvästi ulkonevia oksia. Ilman tätä menetelmää esimerkiksi ulkonevat oksat loisivat virheellisiä latvuspolygoneja. (Torppa 2024.)

Random forest -algoritmi luokitteli latvuspolygonien puut eläviksi tai kuolleiksi puukarttakoealatiiedoilla opetettujen lasertunnusten piirteiden perusteella. Tällaisia lasertunnuksia voivat olla esimerkiksi intensiteetti ja tiheys, ja niiden piirteet antavat omanlaistaan informaatiota puun tilasta. (Torppa 2024.)

Pystylahopuuaineisto luovutettiin pistetietona (kuvio 3), ja sitä käsiteltiin QGIS-paikkatieto-ohjelman avulla. Pystylahopuupisteiden attribuuttitaulukossa oli kuolleeksi luokittelun lisäksi tieto pystylahopuun pituudesta.



Kuvio 3. Pystylahopuuaineiston pystylahopuita

Arbonaut Oy:n käyttämä lentolaserkeilausaineisto on sama kuin Maanmittauslaitoksen Kansallisessa laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelmassa käytetty aineisto

(Torppa 2024). Maanmittauslaitos oli tilannut laserkeilauksen Milan Geoservice GmbH -yritykseltä, ja se oli toteutettu lentämällä 28.6.–30.6.2023 välisenä aikana (Ahonen 2024).

Lentolaserkeilauksen keskimääräinen pistetiheys oli ollut 6,24 pistettä neliometriä kohden (taulukko 1), joka on hieman tiheämpi kuin Kansallisen laserkeilausohjelman pistetiheys. Ilmoitetut pistetiheystiedot ovat keskiarvoja, ja pistetiheyteen vaikuttavat lennon aikana tapahtuvat erilaiset häiriötekijät, kuten turbulenssit ja lentonopeuden ja -korkeuden muutokset (Torppa 2024). On siis syytä olettaa, että tavoitteena on ollut viisi pistettä neliometriä kohden (Maanmittauslaitos 2024).

Taulukko 1. Lento- ja laserkeilausparametrit (mukaillen Ahonen 2024)

lentonopeus, solmua	150
lentokorkeus, keskimääräisestä maanpinnasta, m	1400
puoli-avauskulma, astetta	24
keilaustaajuus, Hz	192,6
pulssitaajuus, Hz	1150
sivupeittoprosentti	21 %
keskimääräinen pistetiheys	6,24
maksimipisteväli lentosuunnassa	0,433
maksimipisteväli peilin liikkeen suunnassa	0,253
multipulse	Kyllä

#### 4.4 Maastotarkastukset

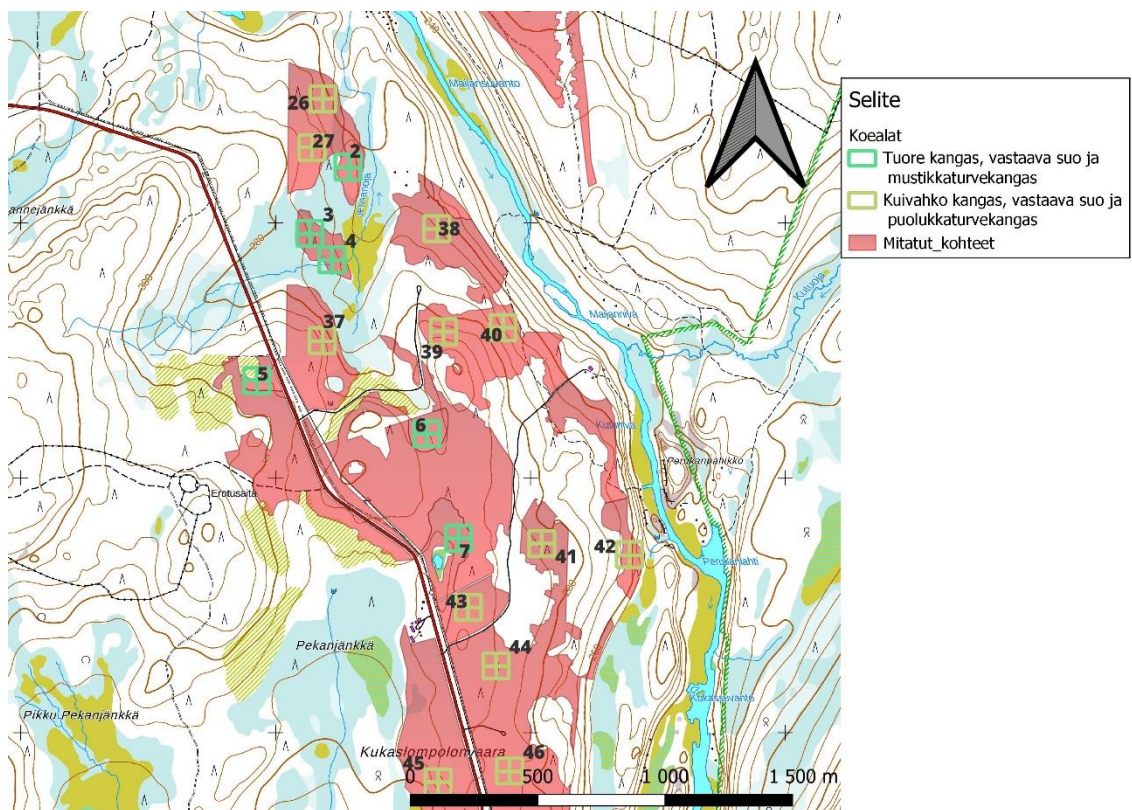
##### 4.4.1 Suunnittelu

Maastotarkastuksen tuloksien avulla vastattiin opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin. Maastotarkastuksen suunnittelu toteutettiin QGIS-paikkatieto-ohjelman avulla, ja suunnittelulla pyrittiin saamaan mahdollisimman laaja otanta erilaisista ympäristöistä ja pystylahoupuuston mittaluokista. Suunnittelussa tarkastettavat alueet rajattiin Metsähallituksen mittaamille kuvioille, koska niistä saatiin ennak-



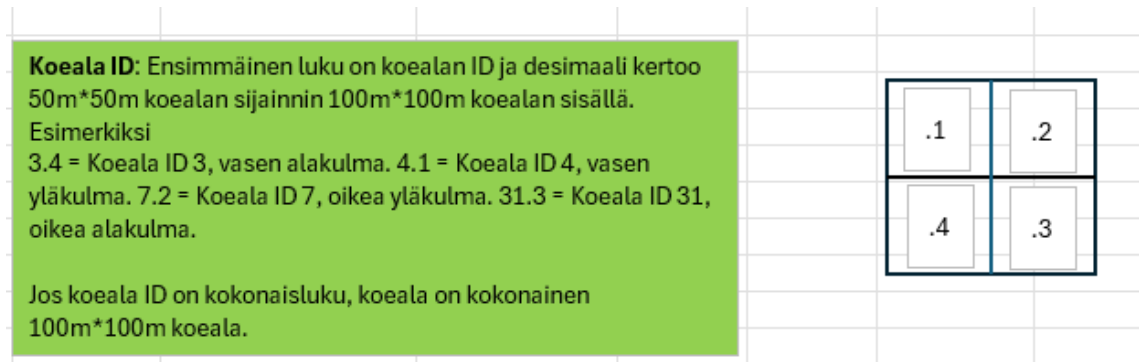
koon käsitys metsien tilasta. Näitä kuvia tutkittiin maastokartan, vinovalvarjosteen, vääräväri- sekä tavallisten ortokuvien avulla erilaisten kohteiden löytämiseksi.

Valituille kohteille sijoitettiin ennakkoon koealoja QGIS-paikkatieto-ohjelmalla. Kartalle sijoitettiin yhden (1) hehtaarin kokoisia neliön muotoisia koealoja, jotta koealoille saataisiin riittävästi pystylahopuuaineiston havaintopisteitä (kuvio 4). Koealat jaettiin neljään osaan, jotta niistä oli mahdollista irrottaa 2500 neliömetrin koealoja. Pienempiä, 2500 neliömetrin koealoja oli tarve irrottaa, koska ensimmäisen koealan (koeala ID 36) mittauksessa havaittiin, että löytämättä jääneitä pystylahopuita oli enemmän, kuin ennakkoon oli oletettu. Rajallisen ajan vuoksi pienempien koealojen mittaaminen yleisen tarkkuuden arvioimiseksi oli tarpeellista. Tämän menetelmän avulla pystyttiin toteamaan, kuinka tarkkaan Arbonaut Oy:n ja Metsähallituksen kaukokartoitusperusteinen menetelmä löytää pystylahopuut erilaisista metsistä. Hehtaarin kokoisilla koealoilla mitattiin pystylahopuuaineiston havaintopisteiden tarkkuutta.



Kuvio 4. Kartalle sijoitettuja koealoja

Koealat numeroitiin niin, että kokonaisia koealoja kuvattiin kartalla ja aineistossa kokonaisluvuilla ja neljään osaan jaettuja koealoja desimaaliluvuilla, mutta vain aineistossa. Desimaaliluku kuvasti koealan osaa (kuvio 5). Jokaiselta neljään osaan jaetulta koealalta mitattiin yksi osa järjestyksessä niin, että seuraavalle koealalle saavuttaessa mitattiin aina edellistä seuraava osa, jotta mittajaan subjektiivisuuden aiheuttama virhe pienenisi.



Kuvio 5. Kuvaus koealatunnuksista maastotaulukossa

Hehtaarin kokoisilta koealoilta mitattiin pelkästään pystylahopuuaineiston havaintopisteet, ja siten pyrittiin todentamaan pystylahopuuaineiston havaintojen oikeellisuus. Pienemmillä, 2500 neliömetrin koealoilla mitattiin pystylahopuuaineiston havaintopisteiden lisäksi myös pystylahopuut, jotka eivät näkyneet pystylahopuuaineistossa.

Koealat jaoteltiin kasvupaikkaluokkien mukaan eri väreillä. Koealojen ulkopuolelle jääneet pystylahopuuhavainnot rajattiin aineistosta pois, ja sisälle jääneet havainnot numeroitiin niiden yksilöimiseksi (kuvio 6).



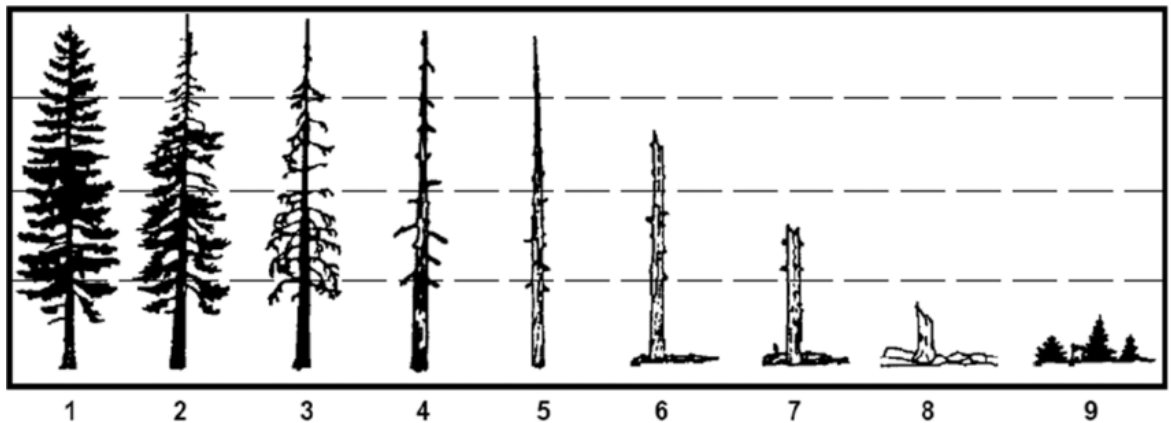
Kuvio 6. Numeroituja pystylahopuuhavaintoja

#### 4.4.2 Toteutus

Maastotarkastukset toteutettiin keväällä 25.3.–29.3.2024 lumiseen aikaan. Koealoja sijoitettiin ennakkoon kartalle yhteensä 79 kappaletta, ja 25 niistä mitattiin. Mitattavat koealat valikoituivat niiden ominaisuuksien ja saavutettavuuden perusteella. Valikoimiseen vaikuttavia ominaisuuksia olivat esimerkiksi erilaiset maastonmuodot, kasvupaikkaluokka, vesistöt ja kivikkoisuus. Rungas ennakkoon sijoitettujen koealojen määrä mahdollisti koealojen valikoimisen tarpeen mukaan niin, että otannasta saatiin mahdollisimman laaja.

Suunnistamisessa ja aineiston käsittelyssä maastossa käytettiin Garminin GPS-laitetta sekä Samsungin maastotablettia. Pystylahopuuaineistoa ja muita paikkatietomateriaaleja käsiteltiin maastotabletille ladatulla QField-sovelluksella. Puuston mittaamisessa käytettiin relaskooppiä, hypsometriä, metsurinmittaa ja Talmer-mittanauhaa. Pystylahopuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta sekä pituus ja määriteltiin puulaji. Pystylahopuiden minimiläpimittana pidettiin kymmenen senttimetriä, koska kaukokartoitusmenetelmän ei voitu olettaa tunnistavan sitä pie-

nempiä puita, mutta kahdessa tapauksessa havaintopisteen kohdalla oli alle minimiläpimitan elävät puut. Nämä otettiin huomioon, koska menetelmä oli tunnistanut ne oletuksesta huolimatta. Pystylahopuille ja väärin tulkituille eläville puille määriteltiin wildlife tree -luokka (kuvio 7), jota Bater ym. (2009, 1083) käyttivät tutkimuksessaan kuvastamaan puun terveys- ja rakennepiirteitä. Wildlife tree -luokka (WT-luokka) kuvastaa tässä opinnäytetyössä puun rakenteellisia ominaisuuksia. Luokat 1–2 ovat eläviä puita ja 3–9 kuolleita. Koeala- ja puustotiedot kirjattiin maastotabletilla Excel-taulukkoon.



Kuvio 7. Wildlife tree -luokat (Bater ym. 2009, 1083)

Hehtaarin kokoisilla koealoilla havaintopisteille suunnistettiin maastotabletin avulla. Mikäli kyseessä oli oikea havainto, eli puu oli kuollut ja oikealla paikalla, siitä mitattiin edellä mainitut tunnuksset. Jos puu oli elossa, se tulkittiin vääräksi havainnoksi ja siitä mitattiin vastaavat tunnuksset, ja lisäksi kirjattiin lisätietokenttään mahdolliset väärään tulokseen johtaneet tekijät. Joissakin tapauksissa havaintopisteen kohdalla ei ollut puita, jolloin tulos tulkittiin vääräksi ja ympäristöstä kirjattiin mahdolliset lisähavainnot Excel-taulukkoon. Oli myös havaintopisteitä, joiden kohdalla oli väärä havainto, mutta alle kymmenen metrin päässä oli pystylahopuu. Tällaisissa tilanteissa voitiin olettaa, että kyseessä on kartta- ja/tai GPS-virheestä johtuva virheellinen havaintopiste. Havaintopiste kirjattiin oikeaksi, se paikannettiin GPS-laitteella ja lisätietokenttään kirjattiin kuvaus tilanteesta.

Pienemmällä, 2500 neliömetrin koealoilla mitattiin pystylahopuuaineistossa osoitetut havaintopisteet samalla tavalla kuin hehtaarin kokoisilla koealoilla. Niiden lisäksi mitattiin havaitsematta jääneet pystylahopuut. Havaitsematta jääneiden pystylahopuiden osalta mitattiin vastaavat tunnuksset, ja lisäksi ne paikannettiin

GPS-laitteella. Tällaisissa tilanteissa lisätiedon kirjaaminen oli tärkeää, jotta niistä saatua informaatiota voitaisiin hyödyntää jatkotutkimuksissa. Myöhempää tunnistamista varten havaitsematta jääneet pystylahopuille annettiin erillinen puu-ID-tunnus. Puun ID:n eteen kirjattiin kirjain A, jonka jälkeen järjestysnumero (kuvio 8). Numerot ilman A-kirjainta ovat havaintopistepuita.

Pystylahopuut koealoilla									
ID tunnukset ovat kartalla				O=1 / V=2					
Jos puuta ei ole, jätä laji yms. Kentät tyhjiksi									
Jos löydät tunnistamattoman puun, merkkää koeala ID, sijainti ja puu ID:ksi A1, A2, A3 jne									
Koeala ID	Koealakuvaus	Puu ID	O/V	Sijainti e,n	Laji	Pituus, m	d1.3	WT-luokka	Lisätiedot
36		A1		E00376532, N07515228	1	6	16,2	6	
		359	1		1	15,75	28	3	Latvus tallella
		A2		E00376547, N07515305	3	3,5	12,8	7	
		A3		E00376541, N07515291	3	3	15	7	
		A4		E00376544, N07515281	1	10	24	3	
		A5		E00376543, N07515265	3	4	16	7	kahden 8m pitkän, d1,38cm koivun rypäässä
		A6		E00376555, N07515270	1	10	21,4	3	
		A7		E00376551, N07515256	1	8	20,6	6	jonkin verran oksia
		A8		E00376575, N07515231	1	5	28	6	

Kuvio 8. Kuvakaappaus maastossa käytetystä Excel-taulukosta

Kaikilta koealoilta mitattiin yleiset puustotiedot relaskooppikoealoina. Relaskooppikoealalle määriteltiin järjestysnumero, mikäli samalta koealalta mitattiin useampi relaskooppikoeala. Mitattavia tunnuksia olivat koealan sijainti, kasvupaikka-luokka, kehitysluokka, puulaji, pohjapinta-ala, rinnankorkeusläpimitta ja keskipituus.

Koealoja mitattiin yhteensä 25, joista 11 oli kokonaisia hehtaarin kokoisia koealoja ja 14 pienempiä koealoja. Havaintoja mitattiin yhteensä 248, joista 244 oli mitattuja puita. Neljän havaintopisteen kohdalla ei ollut puuta.

## 5 TULOKSET

Maastotarkastuksesta saadut aineistot analysoitiin ristiintaulukoinnin ja frekvenssitaulukoiden avulla. Analysointia tehtiin tutkimuskysymysten asettamien ehtojen perusteella siten, että Metsähallitus Metsätalous Oy saa käyttöönsä alustavat tulokset kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuudesta.

Kaukokartoitusperusteisen menetelmän voitiin todeta olevan epätarkka, koska iso osa koealoilla olevista pystylahopuista olivat jääneet löytymättä. Tällaisia pystylahopuita oli yhteensä 123 kappaletta. Löytämättä jääneet puut mitattiin pienemmiltä koealoilta, pois lukien 33 pystylahopuuta, jotka olivat koealalla numero 36, joka on hehtaarin kokoinen koeala. Nämä 33 pystylahopuuta eivät aiheuttaneet frekvenssitaulukoissa merkittäviä muutoksia, ja sen vuoksi niitä ei huomioitu näissä tuloksissa.

### 5.1 Pienemmät koealat

Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuus saatiin 2500 neliömetrin koealojen tulosten perusteella, kun verrattiin pystylahopuuaineiston oikein tulkittuja havaintopisteitä sen löytämättömiin pystylahopuihin ristiintaulukoinnin avulla. Tällaisia koealoja mitattiin yhteensä 14 kappaletta, ja niiden sisältä mitattiin yhteensä 126 pystylahopuuta sekä tyhjää havaintoa.

Ristiintaulukointia käytettiin myös, kun selvitettiin, millaisilla kohteilla oli saavutettu korkein tarkkuusprosentti (taulukko 2). Kasvupaikkaluokat jakautuivat tuoreiden (3), kuivahkojen (4) sekä kuivien kankaiden (5) tai niitä vastaavien turve maiden kasvupaikkaluokkiin, joista kuivahkoja oli eniten. Kuivien kankaiden koealoja oli kaksi, ja siksi sen antama tulos saattaa vääristää siihen kohdistunutta tarkkuustulosta.

Taulukko 2. Jaottelu kasvupaikkaluokan mukaan

Tarkkuus kasvupaikkaluokan mukaan 50m*50m koealoilla					
Koeala ID	Kasvupaikkaluokka	Oikein	Löytämättä	Kaikki yhteensä (n-arvo)	Tarkkuus-%
3.4	3	2	7	9	22,2 %
4.1	3	5	10	15	33,3 %
7.2	3	2	6	8	25,0 %
17.1	3	3	4	7	42,9 %
Yhteensä		12	27	39	30,8 %
6.4	4	4	7	11	36,4 %
28.2	4	2	13	15	13,3 %
31.3	4	2	2	4	50,0 %
35.1	4	3	4	7	42,9 %
40.2	4	2	4	6	33,3 %
69.3	4	4	4	8	50,0 %
70.2	4	3	9	12	25,0 %
79.4	4	2	5	7	28,6 %
Yhteensä		22	48	70	31,4 %
71.4	5	1	11	12	8,3 %
72.3	5	1	4	5	20,0 %
Yhteensä		2	15	17	11,8 %

Metsät jakautuivat pienemmillä koealoilla varttuneisiin, uudistuskypsiin sekä eri-ikäisrakenteisiin metsiin (taulukko 3). Alueen metsät ovat vanhoja, ja siksi suurin osa koealoista oli uudistuskypsissä metsissä. Myös eri-ikäisrakenteiset metsät olivat vanhoja, mutta niissä puusto oli useammassa kerroksessa.

Taulukko 3. Jaottelu kehitysluokan mukaan

Tarkkuus kehitysluokan mukaan 50m*50m koealoilla					
Koeala ID	Kehitysluokka	Oikein	Löytämättä	Kaikki yhteensä (n-arvo)	Tarkkuus-%
4.1	03	5	10	15	33,3 %
31.3	03	2	2	4	50,0 %
35.1	03	3	4	7	42,9 %
<b>Yhteensä</b>		<b>10</b>	<b>16</b>	<b>26</b>	<b>38,5 %</b>
3.4	04	2	7	9	22,2 %
6.4	04	4	7	11	36,4 %
28.2	04	2	13	15	13,3 %
40.2	04	2	4	6	33,3 %
69.3	04	4	4	8	50,0 %
71.4	04	1	11	12	8,3 %
72.3	04	1	4	5	20,0 %
79.4	04	2	5	7	28,6 %
<b>Yhteensä</b>		<b>18</b>	<b>55</b>	<b>73</b>	<b>24,7 %</b>
7.2	ER	2	6	8	25,0 %
17.1	ER	3	4	7	42,9 %
70.2	ER	3	9	12	25,0 %
<b>Yhteensä</b>		<b>8</b>	<b>19</b>	<b>27</b>	<b>29,6 %</b>

## 5.2 Isommat koealat

Hehtaarin kokoisia koealoja mitattiin 11 kappaletta, ja pystylahopuuaineiston havaintopisteitä oli näillä koealoilla yhteensä 89 kappaletta (taulukko 4). Tulokset muodostettiin myös näiden koealojen osalta ristiintaulukoinnin avulla, jotta voitiin havainnollistaa oikeiden ja väärin havaintojen suhteita eri ympäristöissä.



Taulukko 4. Oikein tulkittujen pystylahopuiden tarkkuus

Pystylahopuuaineiston havainnot 100m*100m koealoilla				
Koeala ID	Oikein	Väärin	Kaikki yhteensä (n)	Tarkkuus-%
10	3	2	5	60,0 %
11	4	4	8	50,0 %
12	4	3	7	57,1 %
14	6	1	7	85,7 %
15	5	4	9	55,6 %
16	6	2	8	75,0 %
36	5	2	7	71,4 %
64	5	3	8	62,5 %
65	9	1	10	90,0 %
66	10	2	12	83,3 %
68	6	2	8	75,0 %
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>63</b>	<b>26</b>	<b>89</b>	<b>70,8 %</b>

Kasvupaikkaluokat jakautuivat tuoreiden ja kuivahkojen kankaiden metsiin ja vastaaviin turvemaihin (taulukko 5). Molempien kasvupaikkaluokkien osalta havaintoja kertyi lähes saman verran, ja ne ovat siksi hyvin vertailukelpoisia.

Taulukko 5. Hehtaarin koealojen jaottelu kasvupaikkaluokittain

Tarkkuus kasvupaikkaluokan mukaan 100m*100m koealoilla					
Koeala ID	Kasvupaikkaluokka	Oikein	Väärin	Kaikki yhteensä (n-)	Tarkkuus-%
10	3	3	2	5	60,0 %
11	3	4	4	8	50,0 %
12	3	4	3	7	57,1 %
14	3	6	1	7	85,7 %
15	3	5	4	9	55,6 %
16	3	6	2	8	75,0 %
<b>Yhteensä</b>		<b>28</b>	<b>16</b>	<b>44</b>	<b>63,6 %</b>
36	4	5	2	7	71,4 %
64	4	5	3	8	62,5 %
65	4	9	1	10	90,0 %
66	4	10	2	12	83,3 %
68	4	6	2	8	75,0 %
<b>Yhteensä</b>		<b>35</b>	<b>10</b>	<b>45</b>	<b>77,8 %</b>

Hehtaarin koealoilla kehitysluokat jakaantuivat laajemmin T2-taimikoista eri-ikäis-rakenteisiin metsiin. Kehitysluokat painottuivat varttuneisiin metsiin ja koealoja muilta kehitysluokilta oli 1–2 kappaletta (taulukko 6). Tällä on merkitystä tulosten luotettavuuteen kehitysluokkien osalta.

Taulukko 6. Kehitysluokkajaottelu hehtaarin koealoilla

Tarkkuus kehitysluokan mukaan 100m*100m koealoilla					
Koeala ID	Kehitysluokka	Oikein	Väärin	Kaikki yhteensä (n-arvo)	Tarkkuus-%
14	T2	6	1	7	85,7 %
Yhteensä		6	1	7	85,7 %
16	02	6	2	8	75,0 %
Yhteensä		6	2	8	75,0 %
10	03	3	2	5	60,0 %
11	03	4	4	8	50,0 %
12	03	3	4	7	42,9 %
15	03	5	4	9	55,6 %
64	03	5	3	8	62,5 %
66	03	10	2	12	83,3 %
Yhteensä		30	19	49	61,2 %
68	04	6	2	8	75,0 %
Yhteensä		6	2	8	75,0 %
65	ER	9	1	10	90,0 %
36	ER	5	2	7	71,4 %
Yhteensä		14	3	17	82,4 %

Vertailua tehtiin myös pituus-, läpimitta- ja WT-luokissa. Vertailu oli selkein tehdä frekvenssitaulukoilla, koska tarkoitus oli esittää muuttujan frekvenssien jakautumista eri luokissa. Frekvenssitaulukoiden avulla voitiin havainnollistaa, miten eri mittaluokat vaikuttavat kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuuteen. Näissä taulukoissa on yhdistetty molempien koealatyypin havainnot, koska siten saatiin kokonaiskuva eri luokkien vaikutuksesta pystylahopuuhavainnointiin. Jotta koealan koon vaikutusta tuloksiin voitiin arvioida, tehtiin vertailua myös molempien koealatyypin välillä.

Pituuksissa ja läpimitoissa oli suurta hajontaa, ja siksi niille luotiin pituus- ja läpimittaluokat, joiden avulla niiden jakautumista oli selkeämpi havainnollistaa (taulukko 7). Pituudet luokiteltiin neljän metrin välein ja läpimitat neljän senttimetrin välein.

Taulukko 7. Pituus- ja läpimittaluokat

Pituusluokat	m	Läpimittaluokat	cm
1	0-3,99	1	6-9,99
2	4-7,99	2	10-13,99
3	8-11,99	3	14-17,99
4	12-15,99	4	18-21,99
5	16-19,99	5	22-25,99
6	20-23,99	6	26-29,99
7	24-27,99	7	30-33,99
		8	34-37,99
		9	38-41,99
		10	42-45,99
		11	46-49,99

### 5.3 Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuus

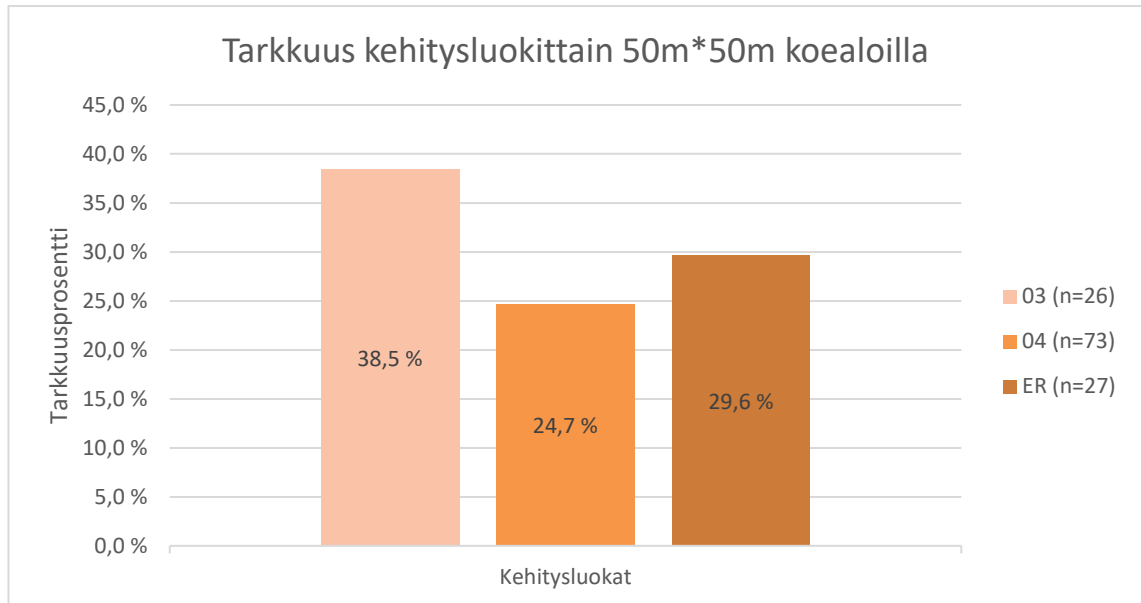
Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston yleinen tarkkuus oli odotettua pienempi. Kun verrattiin aineiston oikein tehtyjä pystylahopuuhavaintoja sen löytämättä jääneisiin pystylahopuihin, tarkkuusprosentti oli 20,6 prosenttia (taulukko 8). Arbonaut Oy oli saanut tarkkuustulokseksi 50–55 prosenttia, kun se vertasi pystylahopuuaineistoa Suomen metsäkeskuksen tuottamiin puukarttakoealoihin, jotka oli mitattu talousmetsissä (Torppa 2024). Suurempi tarkkuusprosentti voi johtua siitä, että pystylahopuuaineiston muodostamiseen käytetyn menetelmän opetusaineistona oli käytetty talousmetsistä kerättyjä laserpiirteitä, ja tässä tutkimuksessa kerätyt tiedot ovat suurimmaksi osaksi vanhoista, vähintään luonnon-tilaisen kaltaisista metsistä.

Taulukko 8. Pystylahopuuaineiston tarkkuus

Havainnot 50m*50m koealoilla					
Koeala ID	Oikein	Väärin	Löytämättä	Kaikki yhteensä (n)	Tarkkuus-%
3.4	2		7	9	22,2 %
4.1	3	2	10	15	20,0 %
6.4	3	1	7	11	27,3 %
7.2	1	1	6	8	12,5 %
17.1	2	1	4	7	28,6 %
28.2	2		13	15	13,3 %
31.3		2	2	4	0,0 %
35.1	1	2	4	7	14,3 %
40.2	2		4	6	33,3 %
69.3	4		4	8	50,0 %
70.2	2	1	9	12	16,7 %
71.4	1		11	12	8,3 %
72.3	1		4	5	20,0 %
79.4	2		5	7	28,6 %
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>90</b>	<b>126</b>	<b>20,6 %</b>

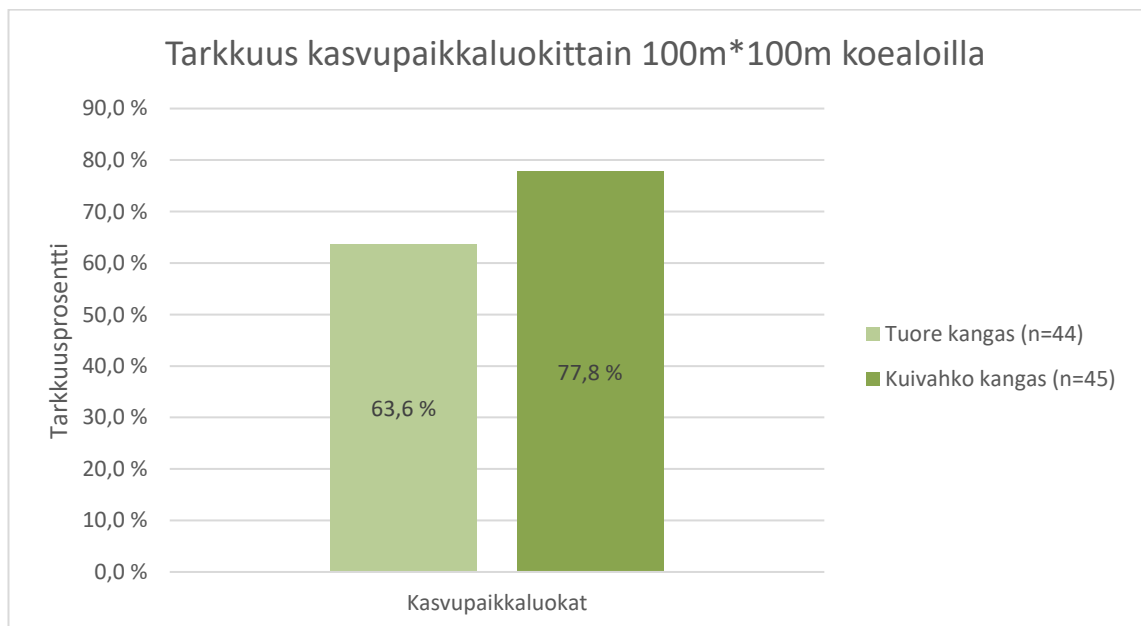
Kasvupaikkaluokalla ei havaittu olevan merkitystä pystylahopuiden löytymiseen. Havaintoja oli eniten tuoreilla ja kuivahkoilla kankailla, ja näillä kasvupaikoilla tarkkuusprosentti oli noin 31 prosenttia. Kuivan kankaan koealoja oli kaksi, ja niiden tarkkuusprosentti oli alhaisin, mutta on otettava huomioon, että otanta oli suppea verrattuna muihin kasvupaikkoihin.

Sen sijaan kehitysluokalla voitiin todeta olevan vaikutusta pystylahopuuhavainnoinnissa. Tarkkuus oli paras varttuneissa metsissä ja heikoin uudistuskypsissä metsissä (kuvio 9). Koealoja oli eniten uudistuskypsissä metsissä, ja sillä voi olla alentava, mutta tarkentava vaikutus tulokseen.



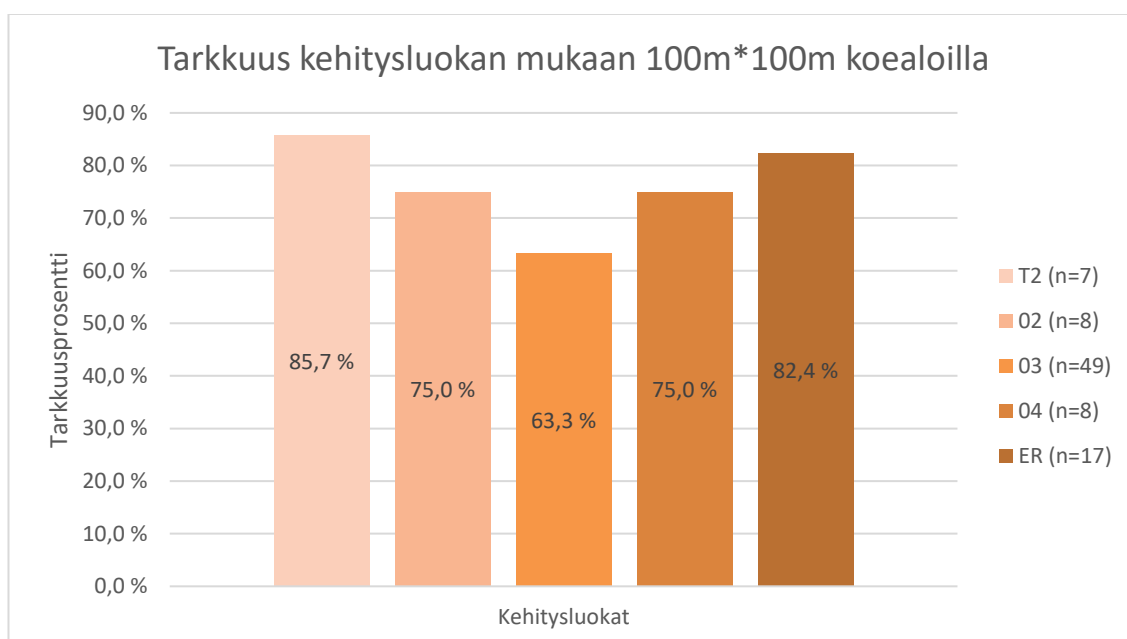
Kuvio 9. Oikeat havainnot kehitysluokittain suhteutettuna löytymättömiin pystylahopuihin

Pystylahopuuaineiston alhaisesta tarkkuusprosentista huolimatta kaukokartoitusmenetelmin löydetty pystylahopuut oli tunnistettu 70,8-prosenttisesti oikein hehtaarin kokoisilla koealoilla (taulukko 4). Kun oikein tunnistettuja pystylahopuita vertailtiin kasvupaikkaluokkien mukaan, voitiin todeta, että kuivahkoilla kankailla tarkkuus on parempi verrattuna tuoreiden kankaiden koealojen tarkkuuteen (kuvio 10).



Kuvio 10. Oikein tulkittujen pystylahopuiden tarkkuusprosentti kasvupaikkaluokittain

Kehitysluokittain jaoteltuna hehtaarin kokoisten koealojen tarkkuudessa oli havaittavissa suurempaa vaihtelua. Heikoin tarkkuus oli varttuneissa metsissä, kun taas paras tarkkuus oli varttuneessa taimikossa (kuvio 11). Tämä voi selittyä sillä, että varttuneessa taimikossa pystylahopuut ovat todennäköisesti taimikon pituuden yläpuolella. Varttuneissa metsissä pystylahopuut voivat jäädä latvuston alle. Koealat olivat pääasiassa varttuneissa kasvatusmetsissä, ja muiden kehitysluokien koealoja oli 1–2 kappaletta. Havainnot olivat selvästi painottuneita, ja siksi voitiin todeta, että kehitysluokittain jaottelulla ei saatu luotettavaa tulosta kehitysluokan vaikutuksesta pystylahopuiden oikein tunnistamiseen.



Kuvio 11. Oikein tulkittujen pystylahopuiden tarkkuusprosentti kehitysluokittain

#### 5.4 Pystylahopuuaineiston tarkkuus eri mittaluokissa

Pystylahopuuaineiston oikeiden havaintojen jakauma painottui pituusluokkiin 3–4, kun tarkasteltiin molempien koealatyypin yhdistettyjä tuloksia. Kahta koealatyypin vertailtaessa erikseen pienemmällä koealoilla oikeat havainnot painottuivat selvästi pituusluokkaan 4, kun taas hehtaarin koealojen havainnot myötäilivät koealojen yhdistettyä tulosta (taulukko 9). Väärien havaintojen osalta yhdistettyjen tulosten jakauma korostui pituusluokissa 3–5. Kuten oikeissa havainnoissa, myös väärien havaintojen jakauma pysyi ennallaan hehtaarin koealoilla, kun tulokset jaoteltiin koealatyypin mukaan.

Taulukko 9. Oikeiden ja väärin havaintojen jakauma pituusluokkien mukaan

50m*50m koealat, oikeat			100m*100m koealat, oikeat			Kaikki oikeat havainnot pituusluokittain		
Pituusluokka	f	% (n=26)	Pituusluokka	f	% (n=63)	Pituusluokka	f	% (n=89)
1	2	7,7 %	1	5	7,9 %	1	7	7,9 %
2	4	15,4 %	2	12	19,0 %	2	16	18,0 %
3	5	19,2 %	3	17	27,0 %	3	22	24,7 %
4	11	42,3 %	4	14	22,2 %	4	25	28,1 %
5	4	15,4 %	5	8	12,7 %	5	12	13,5 %
Yhteensä	26	100 %	Yhteensä	63	100 %	Yhteensä	89	100 %

50m*50m koealat, väärät			100m*100m koealat, väärät			Kaikki väärät havainnot pituusluokittain		
Pituusluokka	f	% (n=10)	Pituusluokka	f	% (n=26)	Pituusluokka	f	% (n=36)
2	1	10,0 %	2	3	11,5 %	2	4	11,1 %
3	2	20,0 %	3	6	23,1 %	3	8	22,2 %
4	2	20,0 %	4	10	38,5 %	4	12	33,3 %
5	3	30,0 %	5	4	15,4 %	5	7	19,4 %
Ei puuta	2	20,0 %	7	1	3,8 %	7	1	2,8 %
Yhteensä	10	100 %	Ei puuta	2	7,7 %	Ei puuta	4	11,1 %
			Yhteensä	26	100 %	Yhteensä	36	100 %

Pystylahopuiden löytymisprosentti oli korkein pituusluokissa 4 ja 5. Pituusluokissa 1 ja 6 tarkkuusprosentti oli korkein, mutta havaintojen vähyyden vuoksi tulokseen on suhtauduttava kriittisesti. Pituusluokassa 2 ja 3 pystylahopuita oli tunnistettu eniten oikein, mikäli edellä mainittuja pituusluokkia ei oteta huomioon (taulukko 10).

Taulukko 10. Tarkkuus- ja löytymisprosentit pituusluokkien mukaan

50m*50m koealat, tarkkuus						100m*100m koealat, tarkkuus			
Pituusluokka	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%	Löytämättä	Löytymis-%	Pituusluokka	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%
1	2	0	100,0 %	8	20,0 %	1	5	0	100,0 %
2	4	1	80,0 %	16	19,0 %	2	12	3	80,0 %
3	5	2	71,4 %	30	13,5 %	3	17	6	73,9 %
4	11	2	84,6 %	26	28,2 %	4	14	10	58,3 %
5	4	3	57,1 %	9	25,0 %	5	8	4	66,7 %
6				1	0,0 %	6	7	0	100,0 %
						7	0	1	0,0 %

Kaikki havainnot pituusluokittain, tarkkuus			
Pituusluokka	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%
1	7	0	100,0 %
2	16	4	80,0 %
3	22	8	73,3 %
4	25	12	67,6 %
5	12	7	63,2 %
6	7	0	100,0 %
7	0	1	0,0 %

Läpimittaluokissa eniten oikeita havaintoja kummankin koealatyypin koealoilla oli läpimittaluokassa 3 ja luokissa 2 sekä 4–7 oli paljon oikeita havaintoja. Koealatyypien välillä oikeiden havaintojen jakauma frekvenssiprosenteista tarkasteltaessa oli suhteellisen tasainen (taulukko 11).

Taulukko 11. Oikeiden ja väärin havaintojen jakauma läpimittaluokkien mukaan

50m*50m koealat, oikeat			100m*100m koealat, oikeat			Kaikki oikeat havainnot läpimittaluokittain		
Läpimittaluokka	f	% (n=26)	Läpimittaluokka	f	% (n=63)	Läpimittaluokka	f	% (n=89)
2	3	11,5 %	2	8	12,7 %	2	11	12,4 %
3	7	26,9 %	3	16	25,4 %	3	23	25,8 %
5	4	15,4 %	4	10	15,9 %	4	10	11,2 %
6	4	15,4 %	5	11	17,5 %	5	15	16,9 %
7	4	15,4 %	6	9	14,3 %	6	13	14,6 %
8	1	3,8 %	7	5	7,9 %	7	9	10,1 %
9	3	11,5 %	9	1	1,6 %	8	1	1,1 %
Yhteensä	26	100 %	10	1	1,6 %	9	3	3,4 %
			11	2	3,2 %	10	2	2,2 %
			Yhteensä	63	100 %	11	2	2,2 %
						Yhteensä	89	100 %

50m*50m koealat, väärät			100m*100m koealat, väärät			Kaikki väärät havainnot läpimittaluokittain		
Läpimittaluokka	f	% (n=10)	Läpimittaluokka	f	% (n=26)	Läpimittaluokka	f	% (n=36)
3	2	20,0 %	1	2	7,7 %	1	2	5,6 %
4	3	30,0 %	2	4	15,4 %	2	4	11,1 %
6	1	10,0 %	3	5	19,2 %	3	7	19,4 %
7	1	10,0 %	4	3	11,5 %	4	6	16,7 %
8	1	10,0 %	5	6	23,1 %	5	6	16,7 %
Ei puuta	2	20,0 %	7	2	7,7 %	6	1	2,8 %
Yhteensä	10	100 %	9	1	3,8 %	7	3	8,3 %
			10	1	3,8 %	8	1	2,8 %
			Ei puuta	2	7,7 %	9	1	2,8 %
			Yhteensä	26	100,0 %	10	1	2,8 %
						Ei puuta	4	11,1 %
						Yhteensä	36	100 %

Läpimittaluokittain tarkasteltaessa voitiin huomata, että löytymisprosentti on melko tasainen. Läpimittaluokassa 9 löytymisprosentti on muita korkeampi, mutta havaintoja on todella vähän, eikä siksi tulos ole luotettava. Havaintopisteiden oikeellisuus oli myös tasainen, mutta läpimittaluokassa 6 oli havaittavissa lievästi korkeampi tulos (taulukko 12).



Taulukko 12. Tarkkuus- ja löytymisprosentit läpimittaluokkien mukaan

50m*50m koealat, tarkkuus						100m*100m koealat, tarkkuus			
Läpimittaluokka	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%	Löytämättä	Löytymis-%	Läpimittaluokka	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%
1						1	0	2	0,0 %
2	3	0	100,0 %	10	23,1 %	2	8	4	66,7 %
3	7	2	77,8 %	22	22,6 %	3	16	5	76,2 %
4	0	3	0,0 %	19	0,0 %	4	10	3	76,9 %
5	4	0	100,0 %	10	28,6 %	5	11	6	64,7 %
6	4	1	80,0 %	10	26,7 %	6	9	0	100,0 %
7	4	1	80,0 %	10	26,7 %	7	5	2	71,4 %
8	1	1	50,0 %	4	16,7 %	8			
9	3	0	100,0 %	3	50,0 %	9	1	1	50,0 %
10						10	1	1	50,0 %
11				2	0,0 %	11	2	0	100,0 %

Kaikki havainnot läpimittaluokittain, tarkkuus			
Läpimittaluokka	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%
1	0	2	0,0 %
2	11	4	73,3 %
3	23	7	76,7 %
4	10	6	62,5 %
5	15	6	71,4 %
6	13	1	92,9 %
7	9	3	75,0 %
8	1	1	50,0 %
9	3	1	75,0 %
10	2	1	66,7 %
11	2	0	100,0 %

Oikeat havainnot painottuivat WT-luokkiin 3 ja 4 molemmilla koealatyypeillä (taulukko 13). Tämä tulos oli odotettavissa, koska kaukokartoitusperusteinen pystylahopuuaineisto luotiin suurelta osin latvusmallin avulla, ja WT-luokkien 3 ja 4 pystylahopuiden rakennepiirteille on ominaista latvuksen ja oksien läsnäolo. Kuitenkin 7. WT-luokka korostui hehtaarin kokoisilla koealoilla ja siksi myös yhdistetyissä tuloksissa.

Väärin tunnistetut pystylahopuut jakautuivat joko eläviin tai olemattomiin puihin. WT-luokkataulukossa elävät puut ovat luokat 1 ja 2, ja maastotarkastuksen tuloksissa 61,1 prosenttia sijoittui ensimmäiseen luokkaan (taulukko 13).

Taulukko 13. Oikeiden ja väärin havaintojen jakauma wildlife tree -luokkien mukaan

50m*50m koealat, oikeat			100m*100m koealat, oikeat			Kaikki oikeat havainnot WT-luokittain		
WT-luokka	f	% (n=26)	WT-luokka	f	% (n=63)	WT-luokka	f	% (n=89)
3	10	38,5 %	3	20	31,7 %	3	30	33,7 %
4	8	30,8 %	4	20	31,7 %	4	28	31,5 %
5	2	7,7 %	5	5	7,9 %	5	7	7,9 %
6	3	11,5 %	6	5	7,9 %	6	8	9,0 %
7	3	11,5 %	7	12	19,0 %	7	15	16,9 %
8	0	0,0 %	8	1	1,6 %	8	1	1,1 %
<b>Yhteensä</b>	<b>26</b>	<b>100 %</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>63</b>	<b>100 %</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>89</b>	<b>100 %</b>

50m*50m koealat, väärät			100m*100m koealat, väärät			Kaikki väärät havainnot WT-luokittain		
WT-luokka	f	% (n=10)	WT-luokka	f	% (n=26)	WT-luokka	f	% (n=36)
1	6	60,0 %	1	16	61,5 %	1	22	61,1 %
2	2	20,0 %	2	8	30,8 %	2	10	27,8 %
Ei puuta	2	20,0 %	Ei puuta	2	7,7 %	Ei puuta	4	11,1 %
<b>Yhteensä</b>	<b>10</b>	<b>100 %</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>26</b>	<b>100 %</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>36</b>	<b>100 %</b>

Prosentuaalisesti tarkasteltuna WT-luokassa 4 oli eniten oikein löydettyjä pystylahopuita (taulukko 14). Tämä voi johtua siitä, että WT-luokassa 4 pystylahopuussa ei ole enää juurikaan oksia, ja siksi se muodostaa aukon latvuspeitteeseen. Kyseisessä luokassa pystylahopuulla on kuitenkin joitakin yksittäisiä oksia, jotka kaukokartoitusmenetelmä mahdollisesti tunnistaa helpommin, kuin esimerkiksi 5. WT-luokassa olevat puut, joissa ei ole oksia lainkaan. 3. WT-luokassa pystylahopuussa on lähes kaikki oksat jäljellä, ja se voi mahdollisesti lisätä virhetulkinnan mahdollisuutta.

Taulukko 14. Löytymisprosentti WT-luokittain

Löytymisprosentti WT-luokittain			
WT-luokka	Oikein	Löytämättä	Löytymis-%
3	10	37	21,3 %
4	8	17	32,0 %
5	2	7	22,2 %
6	3	10	23,1 %
7	3	19	13,6 %

Pystylahopuuaineiston oikeat ja väärät havainnot jakautuivat useampaan puulajiin, joista mäntyjä oli eniten. Taulukko 15 osoittaa, että tunnistustarkkuus on ollut paras mäntyjen kohdalla, sillä 61 männystä 50 oli oikein. Myös rauduskoivun tunnistaminen oli onnistunut, mutta kuusien tunnistusprosentti on ollut noin 50 prosentin luokkaa. Puulajeittain tarkasteltuna pystylahopuiden löytyminen oli samassa suhteessa tarkkuuden kanssa.

Taulukko 15. Tarkkuus- ja löytymisprosentti puulajeittain

Tarkkuus puulajeittain				Löytymisprosentti puulajeittain 50 x 50 m koealoilla				
Puulaji	Oikein	Väärin	Tarkkuus-%	Puulaji	Oikein	Väärin	Löytämättä	Löytymis-%
Mänty	50	11	82,0 %	Mänty	18	11	66	18,9 %
Kuusi	12	11	52,2 %	Kuusi	2	11	15	7,1 %
Rauduskoivu	23	9	71,9 %	Rauduskoivu	6	9	9	25,0 %
Haapa	2	0	100,0 %					
Harmaaleppä	2	0	100,0 %					
Raita	0	1	0,0 %					

## 5.5 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tulosten perusteella voitaneen todeta, että kaukokartoitusperusteinen pystylahopuuinventointi ei ole vielä riittävän tarkkaa operatiivisessa toiminnassa käytettäväksi. Aineiston yleinen tarkkuus oli 20,8 prosenttia, kun verrattiin oikein tulkittuja pystylahopuita löytymättömiin puihin, eli tämän otannan perusteella kaukokartoitusmenetelmin löydettiin noin viidennes pystylahopuista. Torpan mukaan (2024) Suomen metsäkeskuksen puukarttakoealoilla saavutettiin noin 50–55 prosentin tarkkuus. Nämä puukarttakoealat olivat metsätalousmailla, kun taas opinnäytetyön koealat sijoituivat suurimmaksi osaksi vanhoihin, luonnontilaisen kaltaisiin metsiin. Puukarttakoealoja oli käytetty kaukokartoitusmenetelmän opetusaineistona. Se tarkoittaa sitä, että siihen syötetyt laserkeilauspiirteet pystylahopuiden tunnistamiseksi ovat lähtöisin nuoremmista, hoidetuista metsistä ja puista.

Opinnäytetyössä ja puukarttakoealoilla saavutettu yleinen tarkkuus myötäilee Jutras-Perreaultin ym. (2023, 213–217) tutkimuksen tuloksia. Heidän tutkimuksessaan saavutettiin 18–42 prosentin tulos, ja sen perusteella voidaan olettaa, että lopullinen totuus aineiston tarkkuudesta asettuu näiden lukujen välille.

Kasvupaikkaluokalla ei ollut merkitystä pystylahopuiden löytymiseen, mutta tulosten perusteella varttuneissa metsissä pystylahopuuaineiston tarkkuus on paremmalla tasolla verrattuna muihin kehitysluokkiin. Ne havaintopisteet, jotka kaukokartoitusmenetelmä merkitsi aineistoon pystylahopuiksi, oli tunnistettu oikein 70,8-prosenttisesti, jota voitaneen pitää hyvänä tuloksena.

Kuivahkoilla kankailla saavutettiin 77,8 prosentin tarkkuus, mutta myös tuoreilla kankailla tarkkuus oli peräti 63,6 prosenttia. Näiltä kasvupaikkaluokilta havaintoja mitattiin 45 ja 44 kappaletta, ja siksi voidaan todeta, että kasvupaikkaluokalla voi olla merkitystä tunnistustarkkuuteen. Tuoreilla kankailla on yleensä enemmän kuusia ja kuivahkoilla kankailla mäntyjä, ja tulosten perusteella kuusien tunnistaminen oli mäntyä heikompaa, mikä saattaa selittää eron. Pystylahopuiden tunnistustarkkuus kehitysluokittain vaatii lisähavaintoja luotettavamman tuloksen saamiseksi, koska havainnot painoutuivat selvästi varttuneisiin metsiin.

Kaukokartoitusmenetelmä tunnisti eniten oikein mäntyjä, kun taas kuusia oli suhteellisesti enemmän tulkittu väärin kuolleiksi. Tämä voi johtua kuusen tiheästä oksastosta, mutta myös väristä, ja näiden ominaisuuksien painottuminen laserpiirteissä voi aiheuttaa virheen. Kuusi korostuu myös löytämättä jääneissä puissa. Löytämättä jääneiden puiden osalta voidaan todeta, että pystylahopuun pituudella on merkitystä siihen, että löytyykö pystylahopuu latvuston seasta.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa alustavat havainnot Metsähallituksen kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuudesta jatkotutkimuksia varten. Kyseessä on pilottihanke, jonka tuottaman aineiston tarkkuutta ei ollut vielä arvioitu suuremmassa laajuudessa. Opinnäytetyölle asetettuihin tutkimuskysymyksiin onnistuttiin vastaamaan riittävällä tarkkuudella, ja tulokset antavat suuntaa jatkotutkimuksille.

Kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston menetelmä ei löydä vielä riittävän tarkasti pystylahopuita, mutta ne, jotka menetelmä löytää, tunnistaa se melko tarkasti oikein. Väärin tulkitut puut olivat suurilta osin elinvoimaisia, mutta noin kolmannes oli sellaisia, joissa oli esimerkiksi kuolleita oksia. Tällaisten puiden kohdalla voi olla mahdollista, että lentolaserkeilauksen aikana aiheutunut hetkellinen häiriö, kuten nopeuden muutos aiheuttaa laserpulssin jakautumisen epätasaisesti puun rungolle esimerkiksi niin, että yksi piste osuu latvaan ja loput alemmas puun rungolle, jolloin havainnon pääpaino on alemmassa rungon osassa. Jos alempana rungossa on kuolleen puun laserpiirteisiin sopivia osia, kuten kuolleita oksia, voi se johtaa virheelliseen tulkintaan. Vastaavan kaltaisissa tilanteissa virhettä voi esiintyä myös aineistoon kirjatun pystylahopuun pituudessa.

Arbonaut Oy:n toimittama pystylahopuuaineisto ja Metsähallitus Metsätalous Oy:n keräämä paikkatietoaineisto eivät ole täysin luotettavia pystylahopuun kannalta, koska ne olivat alustavia tuloksia ja näin ollen maastotarkastusten tuloksia voidaan pitää luotettavimpana lähteenä kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuaineiston tarkkuuden arvioimiseen. Myös maastotarkastusten tulosten luotettavuuteen ovat vaikuttaneet erilaiset tekijät. Luotettavuuteen vaikuttivat esimerkiksi runsas lumen määrä ja käytettyjen elektronisten laitteiden paikannusominaisuuksien toimivuus. GPS-virhe on saattanut vaikuttaa joiltain osin pystylahopuuaineiston havaintopisteiden virhetulkintoihin ja lumen määrä puuston pituuden mittaamiseen. Mittaajan subjektiivista virhettä pyrittiin vähentämään selkeästi määriteltyjen mittauskriteerien avulla, mutta tulkinnanvaraisissa tilanteissa, kuten GPS-laitteen aiheuttamissa virhetilanteissa mittaajan oli käytettävä omaa subjek-

tiivista arviointikykyään aineiston tulkintaan. Luotettavuuden kannalta on kiinnitettävä huomiota myös otannan laajuuteen, sillä tuloksia tarkasteltaessa joissain tapauksissa otanta oli liian suppea luotettavan tuloksen määrittelyyn.

Tutkimuseettisesta näkökulmasta tarkasteltuna opinnäytetyö toteutettiin hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Opinnäytetyössä ja etenkin maastotarkastuksissa kiinnitettiin erityistä huomiota huolellisuuteen luotettavimman tuloksen saamiseksi. Tuloksia laatiessa noudatettiin objektiivista ja rehellistä toimintatapaa subjektiivisten virheiden aiheuttamien vääristymien välttämiseksi. Tietoperustassa ja muussa tekstissä, joka ei perustu tekijän omiin päätelmiin, otettiin huomioon tekijöidensä oikeaoppinen merkitseminen lähteisiin ja viittauksiin.

Opinnäytetyön kokonaisuutta suunniteltaessa toimeksiantaja esitti toiveen, että opinnäytetyössä tehtäisiin myös tutkimuskatsaus pysty- ja maalahopuun olemassaolon suhteesta, mutta tätä ei voitu toteuttaa aikataulullisista syistä. Jatkotutkimuksia ajatellen näiden kahden suhdetta olisi syytä tarkastella, koska jos pysty- ja maalahopuiden välillä on korrelaatiota, voidaan siitä saada työkalu kaukokartoitusperusteisen pystylahopuuninventoinnin tarkkuuden parantamiseen. Kaukokartoitusperusteinen pystylahopuuninventointi perustuu pääasiassa latvusmallin analysointiin, mikä saattaa johtaa siihen, että latvuston alla olevat pystylahopuut jäävät löytämättä. Lisäksi jatkotutkimusta voisi tehdä puuston valtapituuden ja oikein havaittujen pystylahopuiden pituuden suhteesta. Missä pituusluokassa tarkuusprosentti on korkein suhteessa valtapituuteen?

Opinnäytetyön tekeminen tästä aiheesta kerrytti tekijänsä ammattitaitoa lahopuuston merkityksen, kaukokartoituksen, paikkatieto-ohjelmien sekä maastotyöskentelyn osalta. Opinnäytetyön suunnitteleminen ja toteuttaminen vaativat projektinhallinnallista otetta sekä avointa yhteistyötä toimeksiantajan kanssa. Opinnäytetyön mittaustuloksista olisi pystynyt luomaan laajasti erilaisia vertailuyhdistelmiä, mutta aikarajoitteen vuoksi tähän työhön valikoitui sellaiset vertailuyhdistelmät, jotka vastasivat tutkimuskysymyksiin. Mittaustulokset ja muut materiaalit luovutetaan toimeksiantajalle, jolloin toimeksiantaja voi edelleen luoda mittaustuloksista erilaisia yhdistelmiä ja vertailukohteita jatkotutkimuksiaan varten. Lapin ammattikorkeakoulu ja opiskelijat voivat hyödyntää opinnäytetyössä

saatuja tuloksia omiin tutkimuksiinsa ja kehittää uusia näkökulmia kaukokartoitusperusteiselle pystylahopuuinventoinnille.

## LÄHTEET

Ahonen, T. 2024. Lentolaserkeilauksen parametrit Äkäslompolon alueella. Yksityinen sähköpostiviesti 15.4.2024. Viestin saaja: Juha Louhenkoski.

Amiri, N., Krzystek, P., Heurich, M. & Skidmore, A. 2019. Classification of Tree Species as Well as Standing Dead Trees Using Triple Wavelength ALS in a Temperate Forest. Teoksessa *Remote Sensing*, Volume 11, Issue 22, Article 2614. Viitattu 10.4.2024 <https://doi.org/10.3390/rs11222614>.

Arbonaut Oy 2024. Yrityksemme. Viitattu 24.4.2024 <https://www.arbonaut.com/fi/about-us/our-company>.

Bater, C.W., Coops, N., Gergel, S.E. & LeMay, V. 2009. Estimation of standing dead tree class distributions in northwest coastal forests using lidar remote sensing. Teoksessa *Canadian Journal of Forest Research*, Vol 39, Issue 6. 1080–1091. Viitattu 10.4.2024 <http://dx.doi.org/10.1139/X09-030>.

Esseen, P.-A., Ehnström, B., Ericson, L., & Sjöberg, K. 1997. Boreal forests. Teoksessa L. Hansson (toim.) *Ecological Bulletins* 46. Boreal ecosystems and landscapes: structures, processes and conservation of biodiversity. Copenhagen: Munksgaard, cop., 16–47. Viitattu 18.3.2024 <https://www.jstor.org/stable/20113207>.

Hardenbol, A.A., Korhonen, L., Kukkonen, M. & Maltamo, M. 2022. Detection of standing retention trees in boreal forests with airborne laser scanning point clouds and multispectral imagery. Teoksessa A. Ellison, N. Cooper, N. Lecomte & H. Qiao (toim.) *Methods in Ecology and Evolution*, Volume 14, Issue 7. 1610–1622. Viitattu 10.4.2024 <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13995>.

Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5. Viitattu 21.3.2024 <http://hdl.handle.net/10138/42935>.

Holopainen, M., Tokola, T., Vastaranta, M., Heikkilä, J., Huitu, H., Laamanen, R. & Alho, P. 2015. Geoinformatiikka luonnonvarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 7. Viitattu 22.3.2024 <http://hdl.handle.net/10138/166765>.

Jafarbiglu, H. & Pourreza, A. 2022. A comprehensive review of remote sensing platforms, sensors, and applications in nut crops. Teoksessa Q. Zhang (toim.) *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 197, Article 106844. Viitattu 21.3.2024 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106844>.

Juntunen, R. 2013. Kaukokartoituksen käyttö keskijännitteisten ilmajohtojen hallinnassa. Tapio Oy. Viitattu 21.3.2024 <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Kaukokartoitus.pdf>.

Jutras-Perreault, M.-C., Næsset, E., Gobakken, T. & Ørka, H.O. 2023. Detecting the presence of standing dead trees using airborne laser scanning and optical



data. Teoksessa *Scandinavian Journal of Forest Research*, Volume 38, Issue 4, 208–220. Viitattu 10.4.2024 <https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2211807>.

Kjellberg, L. 2023. Mitä kerätään ja miksi? 15 kysymystä metsävaratiedosta. *Metsälehti* 21.12.2023. Viitattu 20.3.2024 <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/metsanhoito-15-kysymysta-metsavaratiedosta/#1cef24bf>.

Korhonen, K. T. 2024. VMI ja lahopuiden mittaaminen. Yksityinen sähköpostiviesti 26.2.2024. Viestin saaja: Juha Louhenkoski.

Korhonen, K.T., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Ihalainen, A., Melin, M., Pitkänen, J., Rätty, M., Sirviö, M. & Strandström, M. 2021. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. *Silva Fennica*, Volume 55 Nro 5. Viitattu 20.3.2024 <https://doi.org/10.14214/sf.10662>.

Laki Suomen metsäkeskuksesta 21.12.2016/1326. Viitattu 24.4.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110418#L3>.

Landsat Science 2024. Landsat 9. Viitattu 22.3.2024 <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>.

Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021*. Luonnonvarakeskus. Viitattu 19.3.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-152-3>.

Luonnonvarakeskus 2023a. Kasvihuonekaasuinventaarior 2021: Maataloussektorin ja maankäyttösektorin nettopäästöihin ei merkittäviä muutoksia verrattuna joulukuussa 2022 julkaistuihin ennakkotietoihin. *Seurantajulkistus* 15.3.2023. Viitattu 19.3.2024 <https://www.luke.fi/fi/seurannat/maatalous-ja-lulucfsektorin-kasvihuonekaasuinventaarior/kasvihuonekaasuinventaarior-2021-maataloussektorin-ja-maankayttosektorin-nettopaastoihin-ei-merkittavia-muutoksia-verrattuna-joulukuussa-2022-julkaistuihin-ennakkotietoihin>.

Luonnonvarakeskus 2023b. Valtakunnan metsien inventointi (VMI) – kuvaus. Viitattu 20.3.2024 <https://www.luke.fi/fi/seurannat/valtakunnan-metsien-inventointi-vmi/valtakunnan-metsien-inventointi-vmi-kuvaus>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2023. Kansallinen metsästrategia 2035. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2023:22. Viitattu 19.3.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-740-2>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2024. Lahopuun turvaaminen metsänkäsittelyssä. Viitattu 1.5.2024 <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/lahopuun-turvaaminen/toteutus#section-2244>.

Maanmittauslaitos 2023. Kymmenien miljoonien säästöt uusien metsätiedon keruumenetelmien avulla. *Tiedote* 16.5.2023. Viitattu 21.3.2024

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/69978914/kymmenien-miljoonien-saastot-uusien-metsatiedon-keruumenetelmien-avulla?publisherId=69817990>.

Maanmittauslaitos 2024. Laserkeilaus ja ilmakuvaus. Viitattu 21.3.2024 <https://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus-ja-ilmakuvaus>.

Metsälehti 2023. Tulevaisuudessa metsävarat tunnetaan yksittäisen puun tarkkuudella. Viitattu 21.3.2024 <https://www.metsalehti.fi/uutiset/tulevaisuudessa-metsavarat-tunnetaan-yksittaisen-puun-tarkkuudella/#fbb478eb>.

Pasanen, H., Siitonen, J., Yläne, M. & Saaristo, L. 2022. Selvitys lahoppuuston yhtenäisestä arviointimenetelmästä metsäalan toimijoita varten. Tapion raportteja nro 49. Viitattu 10.2.2024 <https://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/selvitys-lahoppuuston-yhtenaisesta-arviointimenetelmasta-metsaalan-toimijoita-varten/>.

Perkiö, R., Puustinen, M. & Similä, M. 2011. Poltto. Teoksessa M. Similä & K. Junninen (toim.) Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja 2011. Sarja B 157. Viitattu 18.3.2024 <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisu/metsien-ennallistamisen-ja-luonnonhoidon-opas/>.

Pesonen, A., Maltamo, M., Eerikäinen, K. & Packalèn, P. 2008. Airborne laser scanning-based prediction of coarse woody debris volumes in a conservation area. Teoksessa D. Binkley, T.S. Fredericksen, H. Hasenauer & J-P. Laclau (toim.) Forest Ecology and Management Vol 255. 3288–3296. Viitattu 10.4.2024 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.017>.

Päivänen, J. 2010. Maanmittauksen pitkä historia. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2010, numero 1, artikkeli 6787, 84–87. Viitattu 22.3.2024 <https://doi.org/10.14214/ma.6787>.

Saaristo, L. 2011. Talousmetsien luonnonhoito monimuotoisuuden ylläpitäjänä. Teoksessa M. Similä & K. Junninen (toim.) Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja 2011. Sarja B 157, 19–24. Viitattu 19.3.2024 <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisu/metsien-ennallistamisen-ja-luonnonhoidon-opas/>.

Saaristo, L., Pasanen, H. & Arnkil, N. 2023. Lahopuut ja luonnon monimuotoisuus. Tapion raportteja nro 56. Viitattu 10.2.2024 <https://tapio.fi/julkaisut-ja-raportit/lahopuut-ja-luonnon-monimuotoisuus/>.

Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Peltola, H., Pukkala, T., Sihvonen, M., Soimakallio, S., Weaver, S., Vesala, T. & Ollikainen, M. 2022. Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2022. Viitattu 19.3.2024 <https://doi.org/10.31885/9789527457122>.

Siitonen, J. 2001. Forest Management, Coarse Woody Debris and Saproxylic Organisms: Fennoscandian Boreal Forests as an Example. Teoksessa B.G. Jonsen & N. Kryus (toim.) Ecological Bulletins 49. Ecology of Woody Debris in Boreal Forests. Oikos Editorial Office, 11–41. Viitattu 18.3.2024 <https://www.jstor.org/stable/20113262>.

Stitt, J.M., Hudak, A.T., Silva, C.A., Vierling, L.A. & Vierling, K.T. 2021. Characterizing individual tree-level snags using airborne lidar-derived forest canopy gaps within closed-canopy conifer forests. Teoksessa A. Ellison, N. Cooper, N. Lecomte & H. Qiao (toim.) *Methods in Ecology and Evolution*, Volume 13, Issue 2, 473–484. Viitattu 10.4.2024 <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13752>.

Suomen metsäkeskus 2024a. Kuolleen puun seurantamenetelmän kehittäminen – KUOPUS. Viitattu 10.2.2024 <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/kuopus>.

Suomen metsäkeskus 2024b. Metsätalousmaan omistus omistajaryhmittäin. Viitattu 10.2.2024 <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietoa-metsien-omistuksesta/metsatalousmaan-omistus-omistajaryhmittain>.

Suomen metsäkeskus 2024c. Tiedonkeruu. Viitattu 21.3.2024 <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yllapito/tiedonkeruu>.

Syrjänen, K., Korhonen, K.T., Puntila, P. & Siitonen, J. 2024. Luonnontilaiset metsät ja vanhat metsät Suomessa – Euroopan komission ohjeet ja kansallinen tarkastelu. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (Syke). Viitattu 10.2.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5642-7>.

Tomppo, E., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1997. Luonnon monimuotoisuuden arviointi valtakunnan metsien inventoinnissa. Teoksessa L. Hetemäki (toim.) *Metsäsektorin ajankohtaiskatsaus 1997*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 655, 1997, 36–38. Viitattu 21.3.2024 <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1583-5>.

Torppa, K. 2024. Arbonaut Oy. Asiantuntijan haastattelu 5.4.2024.

Viitala, R. & Paananen, R. 2014. Kaukokartoitusperusteinen metsien inventointi. Teoksessa P. Weckström (toim.) *Uusia menetelmiä metsävaratietojen hyödyntämiseen*. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 180, 16–26. Viitattu 21.3.2024 <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-830-336-0>.

Virnes, P., Similä, M. & Junninen, K. 2011. Lahopuun määrän lisääminen. Teoksessa M. Similä & K. Junninen (toim.) *Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas*. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja 2011. Sarja B 157, 54–70. Viitattu 19.3.2024 <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisu/metsien-ennallistamisen-ja-luonnonhoidon-opas/>.

Wikars, L.-O. 1997. *Effects of Forest Fire and the Ecology of Fire-Adapted Insects*. Väitöskirja, Uppsalan yliopisto. Viitattu 18.3.2024 [https://www.researchgate.net/publication/274711701\\_Effects\\_of\\_Fire\\_and\\_Ecology\\_of\\_Fire-Adapted\\_Insects](https://www.researchgate.net/publication/274711701_Effects_of_Fire_and_Ecology_of_Fire-Adapted_Insects).