

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutus

Tuomas Kiiskinen

LASERKEILAUSAINEISTOJEN TARKKUUS TAIMIKOISSA

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2021



Opinnäytetyö
Maaliskuu 2021
Metsätalouden koulutus

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

Tekijä
Tuomas Kiiskinen

Nimeke
Laserkeilausaineiston tarkkuus taimikoissa

Toimeksiantaja
Metsähallitus Metsätalous Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkittiin laserkeilausaineiston tarkkuutta nuorissa ja varttuneissa taimikoissa Lieksassa Metsähallituksen, hallinnoimissa taimikoissa. Samalla arvioitiin, voidaanko taimikoiden suunnittelu hoitaa ilman maastokäyntiä. Laserkeilauksella hankittu metsävaratieto sisältää ennakkotietoja taimikoista, joita hyödynnetään taimikonhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Laserkeilausaineiston tarkkuutta voidaan tarkastella maastomittausten avulla ja tuloksia analysoida erilaisten testien avulla.

Tutkimusta varten laserkeilauksella tuotetut ennakkotiedot kerättiin Excel-taulukoihin. Maastossa suoritettavat mittaukset tehtiin linjoittaisilla ympyräkoeloilla vuoden 2020 taimikontarkastusten ohessa. Taimikoista mitattiin puulajikohtaisesti keskimääräinen runkoluku, keskiläpimitta ja keskipituus. Tarkasteluun otettiin 50 mänty- ja kuusivaltaista taimikkoa kehitysluokista T1 ja T2. Tuloksia analysoidaan kahden riippumattoman muuttujan otoksen vertailulla ja regressioanalyysillä. Analysointi tehtiin SPSS-analysointiohjelmalla.

Havupuiden runkoluvut saatiin laserkeilauksella selville suhteellisen hyvin. Männyn runkoluvun mallin selityskertoimeksi saatiin 75,9 % ja kuusen 78,3 %. Keskipituuden ja keskiläpimitan havainnointi onnistui varttuneimmilta taimikoilta paremmin kuin nuorilta. Laserkeilauksella oli haasteita havaita lehtipuita. Laserkeilausta voidaan käyttää tukena metsäsuunnittelussa varttuneiden havupuuvaltaisten taimikoiden osalta, mutta maastokäyntiä ei kannata jättää hyödyntämättä lehtipuuston vaikean havainnoinnin vuoksi.

Kieli
suomi

Sivuja 49
Liitteet 2
Liitesivumäärä 10

Asiasanat

laserkeilaus, koealat, metsävarat, Lieksa, Metsähallitus



THESIS
April 2021
Degree Programme in Forestry

Tikkarinne 9
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 260 600 (switchboard)

Author
Tuomas Kiiskinen

Title
The Accuracy of Laser Scanning Data in Young Stands

Commissioned by
Metsähallitus Forestry Ltd

Abstract

The thesis investigated the accuracy of laser scanning data in seedling and young stands in Lieksa that are managed by Metsähallitus. At the same time, it was evaluated whether the tending of seedling stand could be done without a field trip. Forest resource data obtained by laser scanning contains preliminary information on seedlings that are utilized in the planning of seedling management measures. The accuracy of the laser scanning data can be tested using field measurements and analyzing the results by using various tests.

Preliminary data generated by laser scanning for the study were collected in Excel spreadsheets. Measurements performed in the terrain were performed in linear circular observation plots alongside the 2020 seedling inspections. The average number of stems, mean diameter and mean length were measured for each seedling species. There were 50 pine and spruce-dominated seedlings from development categories T1 and T2 to be included in the study. The results were analyzed by comparison and regression analysis of a sample of two independent variables. The analysis was performed with the SPSS analysis program.

The number of stems of conifers were determined relatively well by laser scanning. The explanatory coefficient of the number of pine stems model was 75.9 % and that of spruce 78.3 %. Observation of mean length and mean diameter was more successful in the older seedlings than in the young ones. Laser scanning had challenges in detecting deciduous trees. Laser scanning can be used as a support in forest planning for mature coniferous seedlings, but it is advisable to make use of field trips due to the difficult observation of deciduous trees.

Language

Finnish

Pages 49

Appendices 2

Pages of Appendices 10

Keywords

airborne laser scanning, forest resource data, observation plot, Metsähallitus, Lieksa

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Metsävaratieto	6
2.1	Metsävaratiedon käyttö.....	6
2.2	Metsävaratiedon laatukriteerit.....	7
3	Metsävaratiedon keruu	8
3.1	Laserkeilaus.....	8
3.2	Ilmakuvaus.....	10
3.3	Metsävaratiedon tulkinta.....	11
3.4	Maastoinventointi.....	12
3.5	Ympyräkoeala.....	14
3.6	Taimikonhoitotarpeen inventointiprosessi.....	17
4	Tutkimuksen tavoite	18
5	Aineistojen valinta.....	19
6	Analyysimenetelmät.....	21
6.1	Kahden riippumattoman otoksen vertailu.....	21
6.2	Luottamusväli.....	23
6.3	Regressioanalyysi.....	23
7	Tulokset	24
7.1	Tulokset mäntyvaltaisissa taimikoissa	24
7.2	Tulokset kuusivaltaisissa taimikoissa.....	28
7.3	Lehtipuiden havainnointi	31
8	Pohdinta.....	33
8.1	Tulosten tarkastelu	33
8.2	Tutkimuksen luotettavuus	36
8.3	Päätelmät.....	36
	Lähteet.....	38

Liitteet

Liite 1	Tiedonkeruulomake
Liite 2	Testien tulokset

1 Johdanto

Taimikoista saadaan metsävaratietoa kaukokartoitusmenetelmien avulla etukäteen selville. Metsävaratiedolla on suuri merkitys nykypäivän metsätaloudessa. Metsävaratieto käsittää paikkaan sidottua tietoa puustosta tietyltä alueelta ja sitä kerätään sekä paikan päällä metsässä että kaukokartoitusmenetelmillä. Kaukokartoitusmenetelmiä metsävaratiedon keruussa ovat esimerkiksi laserkeilaus ja ilmakuvaukset. Laserkeilausta käytetään kaukokartoitusmenetelmänä sen edullisuuden ja nopeuden vuoksi.

Laserkeilaamalla saadaan selville puuston korkeus, pohjanpinta-ala sekä puiden paksuus. Lisäksi laserkeilauksen ja ilmakuvien avulla voidaan erottaa havupuut lehtipuista. Laserkeilainaineistoa hyödynnetään metsäsuunnittelussa, joten sen tarkkuudella on suuri merkitys. Laserkeilaamalla varttuneista kasvatusmetsiä saadaan varsin luotettavaa tietoa, mutta taimikoiden osalta tilanne on hankalampi (Metsäkeskus 2016b).

Laserkeilauksen tarkkuutta voidaan tutkia suorittamalla kontrolli-inventointeja. Kontrolli-inventoinnit voivat tapahtua maastomittauksina esimerkiksi linjoittaisina ympyräkoealamittauksina taimikoissa ja saatuja mittaustuloksia verrataan laserkeilainaineiston ennakkotietoihin. Maastomittaustietojen ja laserkeilaustulosten tarkkuutta voidaan tarkastella kahden riippumattoman muuttujan testeillä ja lineaarisella regressiomallilla. Linjoittaisten koealamittausten yhteydessä on hyvä suunnitella tulevia taimikonhoitotoimenpiteitä. Kun taimikonhoitotoimenpiteet tehdään ajallaan, vältetään kasvutappioita ja maksimoidaan puuntuotos.

Vaikka laserkeilaamalla saadaan luotettavaa tietoa varttuneista kasvatusmetsistä, on taimikoiden osalta tilanne haastavampi. Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia, kuinka tarkkaa tietoa taimikoista saadaan laserkeilauksen avulla ja voidaanko taimikoiden suunnittelussa luottaa pelkästään laserkeilauksen tuottamaan ennakkotietoon.

2 Metsävaratieto

2.1 Metsävaratiedon käyttö

Metsävaratiedolla tarkoitetaan paikkaan sidottua tietoa metsistä ja niiden käytöstä. Metsäkeskus kerää ja ylläpitää yksityismetsistä saatavaa metsävaratietoa. Nykyään metsävaratietoa kerätään pääasiassa laserkeilauksen, ilmakuvauksen, referenssikoealojen mittauksien ja puustotulkinnan avulla (Metsäkeskus 2016a, 5). Maaliskuussa 2018 avoimen metsävaratiedon lakimuutos astui voimaan, mikä mahdollisti metsävaratiedon tehokkaamman hyödyntämisen metsätaloudessa. Lakimuutoksessa julkiseksi tiedoksi muutettiin ympäristötiedoiksi luokiteltavia metsävaratietoja, kuten kasvupaikka- ja puustotiedot (Hallituksen esitys 170/2017). Lakimuutoksen ansiosta metsävaratiedon laatuun on panostettu entistä enemmän.

Kaukokartoituksen avulla sekä valtion metsistä että yksityismetsistä kerätään metsävaratietoa, jota käytetään metsikköön kohdentuvien toimenpiteiden ennakoinnissa. Avoin metsävaratieto on julkista tietoa, ja se on kaikille saatavilla metsään.fi -palvelussa. Avointa metsävaratietoa on saatavilla teknisten rajapintojen, karttapalveluiden sekä paikkatietoaineistojen kautta. (Biotalous, 2019.) Taimikoihin kohdentuvissa maastotarkastuksissa hyödynnetään ympyräkoealaa, jossa koealan sisältä luetaan jokainen puu.

Jokaisesta puusta mitataan tarpeelliset puustotunnukset, kuten pituus, läpimitta, ikä ja taimikoista lisäksi myös runkoluku. Metsävaratietoa on syytä pitää ajantasaisena, ja tähän hyödynnetään puustojen laskennallisia malleja sekä niiden päivityksiä. Lisäksi metsänhoitotoimenpiteiden, maastomittausten ja metsäsuunnitelmien yhteydessä metsävaratietoa päivitetään ajantasaisemmaksi. Kaukokartoitukseen perustuvan metsävaratiedon keruun viimeisin kierros alkoi vuonna 2020 (Greis, Haltia, Horne, Iittainen, Laitinen, Maidell, Pynnönen, Raivio, Sajeva, Stenman & Valonen. 2019, 14).

Autereen, Maltamon, Packalénin ja Utteran vuonna 2007 julkaisemassa julkaisussa Laserkeilauksella tehoa ja tarkkuutta metsän inventointiin, esitetään laserkeilauksen tarkkuutta puustotunnusten havainnoinnissa. Julkaisun mukaan puuston tilavuuden arvioinnissa ennustevirheeksi saadaan koealalla noin 20%, kun taas kuviokohtaisesti keskivirhe on vain 5–10 %. Varttuneimmissa puustoissa laserkeilaus on siis luotettava tapa tuottaa metsävaratietoa. Myös Kankaan, Maltamon, Suvannon ja Packalénin vuonna 2005 julkaistussa julkaisussa Kuviokohtaisten puustotunnusten ennustaminen laserkeilauksella - tilavuuden keskivirheen kerrotaan olevan kuvioittain alle 10 % luokkaa.

2.2 Metsävaratiedon laatuksiteerit

Metsävaratiedon keräämiseen liittyy laatuksiteereitä, joita on noudatettava mittausten yhteydessä. Puustotunnusten osalta merkittävimmät laatuksiteerit ovat puuston määrää ja puulajien jakautumista koskevat kriteerit. Suomen metsäkeskuksen metsävaratiedon laatuseloste ohjeistaa kuvioittaisen arvioinnin osalta seuraava: Puulajisuhteet ja puuston määrä mitataan relaskoopikoealoilta subjektiivisesti sijoiteltuna. Puustosta arvioidaan keskeisimmät puustotunnukset. Taimikoissa voidaan hyödyntää puolen aarin ympyräkoealoja runkoluvun määrittämisessä.

Suomen metsäkeskuksen metsävaratiedon laatuselosteen mukaan keskeisimmät laatuvaatimukset metsävaratiedon osalta ovat oikean pääpuulajin tunnistaminen ja taimikoiden runkoluvun selvittäminen 50 %:n tarkkuudella. Lisäksi laatuseloste ohjeistaa puustotunnuksien osalta seuraavaa: Pohjanpinta-ala pyritään saamaan $\pm 3 \text{ m}^2/\text{ha}$ tarkkuudella ja keskitilavuutta pyritään arvioimaan $\pm 20 \%$ tarkkuudella 80 %:ssa nuorten ja varttuneiden kasvatusmetsien sekä uudistuskypsien metsien kohdalla. (Metsäkeskus 2016c, 7.)

Kaukokartoituksella saadaan kuitenkin riittämättömän tarkkaa tietoa etenkin nuorista taimikoista, jolloin on tarpeen tehdä kohdennettuja maastotarkastuksia. Maastotarkastukset suoritetaan kuvioarvioiteina. Tarkastukset voidaan jättää

välistä, jos on saatavilla riittävän tarkkaa informaatiota puustotietojen päättelyä varten. Kyseistä tietoa voi olla esimerkiksi metsänkäyttöilmoituksista saatava puustotieto, Kemera-hakemuksien tiedot tai suora tieto metsänomistajalta (Metsäkeskus 2016a, 6).

3 Metsävaratiedon keruu

Metsävaratiedon keruu kaukokartoitusmenetelmiä hyödyntämällä on pitkä prosessi, joka vie paljon aikaa. Yleensä yhteen metsävaratiedonkeruun sykliin menee noin vuosi. Prosessin vaiheet voidaan jakaa seuraavasti: keväällä ja alkukesästä ennen lehtien puhkeamista tehdään laserkeilaus ja ilmakuvien ottaminen, kun taas syksyllä ja talvella tehdään aineiston tulkintaa sekä laskentamallien muodostamista (Metsäkeskus, 2016a). Näiden rinnalla maastossa tapahtuvia mittauksia voidaan tehdä ympäri vuoden. Tavallisesti maastossa tehtävien mittausten tuloksia vielä verrataan saatuihin laskentamalleihin laadun ja tarkkuuden varmistamiseksi.

Metsävaratiedon keruu maastomittausten avulla kohdentuu etenkin metsikkökuvioihin. Metsikkökuviot ovat karttojen ja ilmakuvien avulla rajattuja yhtenäisiä alueita, joissa puuston ja kasvupaikan ominaisuudet sekä metsänhoidolliset toimenpidetarpeet ovat yhtenäiset. (Metsäkeskus 2016c, 4.) Näistä metsikkökuvioista metsälain 10 §:n kohteet on jätetty erilliseksi kuvioiksi mittausten ulkopuolelle kohteen pinta-alasta riippumatta.

3.1 Laserkeilaus

Metsätaloudessa laserkeilausta käytetään metsävaratiedon keruuseen. Mitattavia puustotunnuksia ovat puuston pituus, läpimitta, ikä, tilavuus, puulajijakaumat ja runkoluku sekä kasvupaikkatunnukset. Menetelmän suosio perustuu keilauksen tehokkaaseen ajankäyttöön. Laserkeilaus on

kaukokartoitusmenetelmä, jossa hyödynnetään laserimpulsseja ja niiden laskennallista eroa. Laserkeilainaineistoa voidaan kerätä sekä maanpinnalta metsäkoneeseen asennetusta keilaimesta, erillisestä laserkeilaimesta tai ilmaitse. Ilmateitse tapahtuvassa laserkeilauksessa hyödynnetään esimerkiksi lentokonetta tai helikopteria. Tällöin käytetään termiä ALS – airborne laser scanning (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta 2013, 6).

Maanpinnalta kerätty laserkeilainaineisto antaa tarkempaa tietoa, mutta on huomattavasti hitaampaa kerätä kuin ilmaitse kerätty. Ilmateitse kerätty laserkeilainaineisto antaa tiedot suuremmalta alueelta kerralla, mutta tällöin tarkkuus kärsii. Ilmateitse tuotetusta laserkeilainaineistosta voidaan käyttää myös termiä LiDAR - Light Detection and Ranging (Holopainen ym. 2013, 6). Etenkin Pohjois-Amerikassa käytetään termiä LiDAR, kun taas laserkeilaus on suositumpi termi Euroopassa.



Kuva 1. ALS- airborne laser scanning- periaate. (Kuva: Metsänhoitoyhdistys Mänty-Saimaa, 2014).

Laserkeilauksessa hyödynnetään laserkeilainta, jonka käyttö perustuu laseretäisyyksien mittaamiseen, inertianavigointiin sekä GPS-paikannukseen. GPS - Global Positioning System (Holopainen ym. 2013, 6) - paikannuksella saadaan tarkkaa tietoa siitä, missä laserkeilain on kullakin ajanjaksolla. Inertianavigoinnilla (INS - Inertia Navigation Systems) tarkoitetaan lentokoneen tai laserkeilaimen asennon tai kulman vaihtelua mittauskohteeseen nähden. (Holopainen ym. 2013, 6.) Inertianavigoinnin ja GPS-paikannuksen avulla jokaiselle pulssille saadaan muodostettua GPS-piste, joiden avulla paluusignaalit voidaan paikantaa.

Paluusignaalien tulkinnessa apuna käytetään valonnopeuden vakiota. Laseretäisyyden mittaaminen tapahtuu siten, että keilaimen nollakohdasta ammutaan laserpulsseja mitattavaa kohdetta kohti. Laserpulssit kimpoavat pinnasta takaisin keilaimeen ja samalla tallennetaan jokaisesta pulssista intensiteettiarvo. Intensiteettiarvoon vaikuttaa muun muassa pinnan muoto, säteen osumiskulma sekä materiaali, josta säde kimpoaa.

Jokaisesta puusta saadaan teoriassa erilainen intensiteettiarvo puiden korkeuksien perusteella. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mitä korkeampi keilattava kohde on, sitä vähemmän aikaa kuluu laserpulssin kimpoamiseen. Laserkeilauksella saadaan samalla maanpinnan muodot selville. Jokaisesta laserpulssia voidaan hyödyntää korkeustiedoston luomisessa, jossa näkyy x -, y -, sekä z – koordinaatit (kuva 1).

Laserpisteiden kuvaamiseen käytetään pulssitiheyttä, joka käytännössä ilmoittaa sen, kuinka monta laserpulssia kutakin neliometriä varten ammutaan. Mitä enemmän laserpulsseja ammutaan, eli mitä tiheämpi on pistetiheys, sitä tarkempaa mittaustulosta saadaan. Taloudellisista syistä ilmakeilaukseen on yleensä yhdistetty myös ilmakeilauksen. Holopaisen ym. (2013, 13) mukaan pistepilvien prosessoinnissa käytetään luokittelua ja erilaisia pintamalleja. Maan pintaa kuvaavasta maastomallista käytetään nimitystä DTM - Digital Terrain Model. Pintamallista, jonka määrittämisessä on käytetty apuna korkeimpia kohtia käytetään nimeä DSM - Digital Surface Model ja mallia, jolla halutaan havainnollistaa puuston korkeutta puuston pituusmallin avulla kutsutaan nimellä Canopy Height Model – CHM. (Holopainen ym. 2013, 13.)

3.2 Ilmakeilaus

Ilmateitse tapahtuvassa laserkeilauksessa otetaan tavallisesti ilmakeilauksia samalla kun aluetta keilataan. Ilmakeilaukset ja laserkeilaukset tukevat toisiaan puustotietojen tulkinnessa. Ilmakeilauksien avulla voidaan selvittää puulajisuhteita ja puustokuvien rajoja. Puulajisuhteiden erottelua varten ilmakeilaukset tehdään, kun puissa on lehtiä. Arbonautin vuonna 2015 julkaistussa Metsätieto 2020

Tavoitetila – julkaisussa kerrotaan, että ilmakuvauksessa hyödynnetään lähi-infran (0.7–0.9 μm) ja näkyvän valon (0.5–0.7 μm) aallonpituusalueita. Lisäksi julkaisussa mainitaan ilmakuvauksen tapahtuvan 6–7 km korkeudelta laadukkaiden kuvien takaamiseksi. (Arbonaut, 2015, 11.) Ilmakuvauksen haasteina ovatkin sääolosuhteet, jotka vaikuttavat ilmakuvauksen onnistumiseen. Lisäksi ilmakuviin ongelmana voidaan pitää niiden heikkoa ajantasaistamista. Ilmakuvaustietojen on oltava hankittu samassa syklistä laserkeilauksen kanssa, jotta niitä voidaan hyödyntää keskenään.

3.3 Metsävaratiedon tulkinta

Metsätaloudessa käytetään kahta eri tapaa tulkita laserkeilainaineistoa. Kyseiset tavat ovat yksinpuintulkinta ITD - Individual tree detection sekä aluepohjainen ABA - Area- based approach - tulkinta (Holopainen ym. 2013, 6). Menetelmän valintaan vaikuttaa pääasiassa laserpulssien tiheys aineistossa. Tiheäpulssinen keilainaineisto sopii yksinpuintulkinnalle, tällöin vaadittava pulssitiheys on vähintään 2 pulssia neliometriä kohti. Harvemmallalla laserpulssitiheydellä saadaan sopivaa aineistoa aluepohjaiselle tulkinnalle. Tällöin vaadittava pulssitiheys on noin 0,5–2 pulssia neliometriä kohti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tarkemman aineiston laatiminen vaatii tiheämpää laserpulssia, jota on myös kalliimpaa tuottaa.

Yksinpuintulkinnassa yksittäisen puun mittaustulokset saadaan selville pistepilveä hyödyntäen. Pistepilveä hyödynnettäessä käytetään yleisimmin puuston pituusmallia (CHM) puuston maksimiarvojen etsinnässä, jonka muodostamiseksi on jatkuvasta pintamallista erotettava korkeiden kohteiden avulla määritetty pintamalli (Hyypä & Jokinen, 1999, 32–33). Lisäksi yksittäisten puiden latvustot segmentoidaan puiden erottamisen helpottamiseksi. Tässä on mahdollista hyödyntää erilaisia linssejä ja suodattimia, jotka estävät esimerkiksi suurien oksien tulkitsemisen puiksi. Yhdestä puusta saadaan useita kaikuja laserpulssin osuessa latvaan, oksien kerrostumiin ja lopuksi maahan.

Kun yksittäisten puiden maksimiarvot puuston pituusmallista on paikannettu, voidaan puustotunnukset johtaa erilaisten puustomallien avulla. Apuna käytetään maastomittauksia, joiden avulla puustomalleja saadaan muodostettua ja tarkennettua. Maastomittaukset eivät kuitenkaan ole välttämättömiä, jos puustomallit ovat jo valmiiksi tarpeeksi hyviä. Valmiita malleja voidaan hyödyntää jatkossa muilla vastaavilla keilausalueilla.

Aluepohjaisessa tulkinnassa on tärkeää, että tutkittava alue edustaa mahdollisimman montaa erityyppistä aluetta ja maastomittauksia tehdään riittävästi. Tulkinnassa hyödynnetään niin kutsuttua lähimmän naapurin periaatetta (NN-menetelmä), jossa LiDAR-mallia verrataan lähimmäksi jo valmiina oleviin samankaltaisiin referenssikoealoihin. Valmiiden referenssikoealojen perusteella voidaan estimoida hilaruudulle puustotiedot. Menetelmän ansiosta tuloksia voidaan yleistää, joka nopeuttaa tulkintaa. (Holopainen ym. 2013, 27.) Sekä yksinpuintulkinta- että aluepohjainen tulkinta nojaa pitkälti maastomittausten kalibrointiin, joten maastomittauksia suorittavan henkilön tekemä virhe on aina otettava huomioon.

Laserkeilaus on metsäsuunnitteluun hyödyllinen apuväline, mutta se ei kuitenkaan kerro absoluuttista totuutta metsästä. Esimerkiksi puulajien tulkinnassa on vielä puutteita. Pisteaineisto ei sisällä sävyinformaatiota, jota käytetään lehtipuiden erottamiseen havupuista. Puulajisuhteiden havainnollistaminen onnistuu kuitenkin ilmakuvien, NN-menetelmän ja laserin paluusignaalin intensiteetin avulla. (Korpela, Ørka, Maltamo, Tokala & Hyypä 2010, 326.) Kuitenkaan lehtipuita ei vielä voida erottaa toisistaan pelkän laserkeilainaineiston avulla, vaan ne luokitellaan yksinkertaisesti lehtipuiksi.

3.4 Maastoinventointi

Kohdennetussa maastotarkastuksessa tarkastellaan metsikkökuvioita, joista ei saada tarpeeksi tarkkaa tietoa kaukokartoitusmenetelmin. Yleisimmin tällaisia kuvioita ovat taimikkokuviot. Kohdennetussa maastoinventoinnissa otetaan huomioon taimikkokuvioita, joilla todetaan olevan puutteita hilaruutujen osalta. Tällöin taimikoista ei saada riittävästi tietoja hilaruutujen avulla. Jos kuitenkin

todetaan, että hilaruutuja on riittävästi kuviolla, voidaan puustotunnukset laskea niistä. Puutteellisia hilaruutuja voidaan täydentää maastoinventoinneilla.

Arbonautin vuonna 2015 julkaisemassa julkaisussa Metsätieto 2020 Tavoitetilassa mainitaan, että kohdennettujen maastoinventointien määrä pyritään pitämään noin 10–15 %:n osuudessa inventointialasta riippuen. Kohdennettuja maastoinventointeja ei välttämättä tarvitse tehdä, jos alueelta on saatavilla riittävästi tietoa vaihtoehtoisista tietolähteistä, kuten Kemera-ilmoituksista, metsänkäyttöilmoituksista tai suorana tietona maanomistajalta. Tietoja voidaan tarkastella erilaisilla laskentasovelluksilla, joilla simuloidaan puuston kehitystä tilannekohtaisesti ja saadaan muodostettua malleja. Kohdennetussa maastoinventoinnissa huomioidaan myös kasvupaikka ja maaperän laatu, joilla on olennainen osa puuston kehityksen kannalta. (Arbonaut 2015, 18.)

Hilaruutujen avulla taimikoille lasketaan puustotunnukset. Tästä käytetään termiä hilayleistys. Hilaruutujen avulla puustotietojen laskennassa käytetään apuna erilaisia painokertoimia. Painokertoimilla pyritään painottamaan hyvien hilaruutujen merkitystä ja heikentämään hilaruutuja, jotka ovat esimerkiksi osittain toisten puustokuvioiden alueella. (Arbonaut 2015, 17.)

Vuoden 2013 inventoinnista lähtien kaukokartoitusperusteinen puustohilatulkinta on kattanut kaikki metsät, mutta kuvioitaista metsävaratietoa tuotetaan ensisijaisesti yksityismetsille. Kaukokartoitusmenetelmää hyödyntämällä joudutaan inventointialueella sijoittamaan noin 600–800 referenssikoealaa mahdollisimman kattavasti sijoitettuina. Tavoitteena on koealoille saada mahdollisimman erilaisia kasvupaikkoja, puulajeja ja puustoja. Referenssikoealojen sijoittelu voi tapahtua ositetulla ryväsoitannalla. Koealoilla pyritään saamaan mallinnettua erilaisia puuston kasvatustilanteita metsästä.

Tavallisesti maastomittauksessa käytetään ympyräkoealaa, jonka säde on 9 m. Koealojen keskipisteet pyritään paikantamaan vähintään metrin sijaintitarkkuudella (Metsäkeskus 2016a, 5). Saaduista tiedoista muodostetaan 16 m x 16 m:n hilaruudukko, joka sisältää mitatut puustotunnukset. Jokaiselle

hilaruudukolle saadaan ilmakuviin ja maastokarttojen avulla muodostettua paikkatieto, joita verrataan viereisiin ruutuihin. Tämän avulla muodostetaan metsikkökuvioita. Referenssikoealojen ansiosta hilaruudukkoon saadaan tarkkaa tietoa, joita hyödynnetään puustotietojen mallinnuksessa. Näitä tietoja voidaan yleistää myös muille kuville. Jos havaitaan ettei hilaruudukko sovellu tietylle alueelle, voidaan alueella suorittaa kohdennettu maastotarkistus.

3.5 Ympyräkoela

Ympyräkoela on taimikoiden ja nuorten metsien inventoinnissa maastossa yleisimmin käytetty puustoninventointimenetelmä. Ympyräkoelalla puustosta saadaan selville alueen puustotunnukset. Taimikoiden inventoinnissa tärkeimpiä puustotunnuksia ovat runkoluku (N), aritmeettinen keskiläpimitta (D), pituus (H) sekä ikä (T). Runkoluvulla tarkoitetaan puustotunnusta, joka ilmaisee, kuinka monta runkoa on hehtaaria kohti (kpl/ha). Runkolukua käytetään etenkin pieniläpimittaisissa ja tiheissä puustoissa, tyypillisimmin taimikoissa. Aritmeettisellä keskiläpimitalla puolestaan tarkoitetaan kaikkien mitattujen puiden läpimitan keskiarvoa rinnankorkeudelta (1,3 m) mitattuna.

Pituuden ja runkoluvun tulokset ovat merkittävimmät taimikonhoidossa. Yleisimmin taimikonhoidon toimenpiteiden ajankohdat ovat ilmoitettu suoritettavaksi silloin kun puusto on tietyn mittaista tai runkoluku on liian suuri. Esimerkiksi taimikon ikä ei ole yhtä luotettava puustotunnus taimikonhoitotarpeen määrittämiseksi, sillä karummalla kasvupaikalla puusto kasvaa hitaammin kuin rehevämmällä. Myös alueellisella sijainnilla on tähän vaikutusta.

Ympyräkoelalla saadaan mitattua, kuinka monta runkoa on mitattavan ympyrän sisällä. Ympyrän säteen mukaan tulos kerrotaan suhdeluvulla, jolloin tulos saadaan vastaamaan hehtaarin alaa (taulukko 1). Yleisimmin tähän käytetään apuna 3,99 m:n pituista mittakeppiä. Tällä menetelmällä ympyrän koelaksi saadaan noin 50 m² ja suhdelukuna käytetään lukua 200. Saatujen puiden lukumäärä siis kerrotaan suhdeluvulla, jolloin tulos saadaan vastaamaan tulosta yhdellä hehtaarilla. Vastaavasti kun mittakeppinä käytetään 5,64 m mittaa, saadaan ympyrän koelaksi yhdellä pyörähdyksellä 100 m². Suhdelukuna

käytetään kerrointa 100, jolloin tulos vastaa tulosta yhden hehtaarin alalta. On tärkeää huomioida puulajien väliset suhteet ja eri puulajeista on mitattava jokaiselle puulajille omat tunnuksensa.

Ympyräkoealan säde, m	Muuntokerroin
3,99	200
5,64	100

Taulukko 1. Ympyräkoealan säteen ja muuntokertoimen suhde (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2014).

Ympyräkoealoja on tärkeä tehdä riittävän monta kappaletta jokaista taimikkoa kohti ja niitä on tehtävä mahdollisimman monipuolisista kohdista, jotta saadaan todenmukainen tulos (taulukko 1). Ympyräkoeala on myös varsin kätevä menetelmä taimikon perkaus- ja harvennustarpeen selvittämisen yhteydessä. Ympyräkoeala on hyvin suosittu metsävaratiedon keräämisen menetelmä. Etenkin nuoret metsät ja taimikot vaativat useimmiten kohdennettua tarkennusta, joissa käytetään ympyräkoelaa hyödyksi.

Koealojen määrän selvittämisessä kullakin kuviolla voidaan käyttää Tapion Hyvien metsänhoitosuosituksen maastotaulukoiden ohjetta, joka ohjeistaa riittävään koealojen määrään kunkin kuviokoon osalta. Esimerkiksi jos mitattavan taimikon pinta-ala on 2,5 ha, sijoitetaan kuviolle 6 koealaa (taulukko 2).

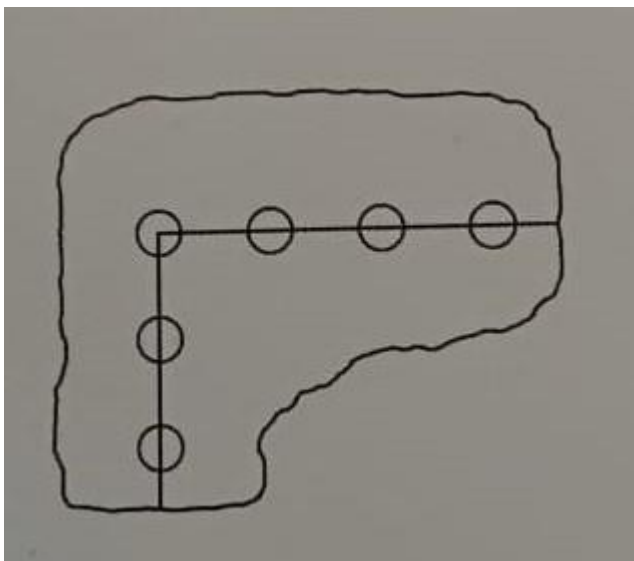
Kuvion pinta-ala, ha	Koealojen määrä
0,5 - 1,9	5
2 - 3,9	6
4 - 5,9	7
6 - 7,9	8
8 - 9,9	9
10+	10

Taulukko 2. Kuviokoon pinta-alan vaikutus koealojen määrään (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2014).

Koska maastomittaukset tapahtuvat henkilösuoritteina, voi mittaustuloksissa ilmetä virheitä. Mittausvirheet voivat johtua mittaajasta, mittalaitteesta, mittausolosuhteista tai mitattavasta kohteesta (Auvinen 2020, 6). Virheitä

voidaan kuvailla satunnaisiksi ja systemaattisiksi. Satunnaisvirheet tapahtuvat nimensä mukaisesti satunnaisesti, ja ne voivat johtua esimerkiksi haastavista mittaustuloksista. Tehokkain tapa eliminoida satunnaiset virheet ovat toistot. Mitä enemmän mittaustuloksia tehdään, sitä pienemmäksi satunnaisten virheiden osuudet todennäköisesti jäävät. Systemaattisiin virheisiin on kuitenkin haastavampaa puuttua. Systemaattiset virheet johtuvat esimerkiksi mittausvälineen virheellisestä käytöstä. Systemaattiset virheet toistuvat jokaisessa mittaustuloksessa ja aiheuttavat epätarkkuutta lopulliseen tulokseen.

Ympyräkoealojen sijoittelu taimikoissa helpottuu, kun hyödynnetään linjoittaista koeala-arviointia. Tässä menetelmässä koealojen sijoittelu tapahtuu siten, että mittaukset suoritetaan tasaisin välimatkoin samalla linjalla, ja koealojen määrä suhteutetaan kuvion pinta-alaan nähden (taulukko 2). Linjojen sijoittelu voidaan aloittaa esimerkiksi puolen koealan mitan päästä kuvion reunasta. Linjan suunta määritetään bussolin avulla, jolla katsotaan asteittaiset lukemat kulmamittauksena. Bussolin avulla saadaan määritettyä tietty suunta, jota kohti linja muodostetaan. Kuviokoon suuruus määrittää sen, kuinka monta ympyräkoealaa alueelta muodostetaan. Taimikoiden paikannuksessa voidaan hyödyntää GPS:ää. Kuten kuvassa 2 esitetään, linjoittainen koeala-arviointi voidaan suorittaa taimikkokuviossa kuvion mukaisesti.



Kuva 2. Esimerkki linjoittaisesta koeala-arvioinnista. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2014).

3.6 Taimikonhoitotarpeen inventointiprosessi

Maastomittausten yhteydessä on syytä miettiä myös seuraavaa taimikon hoitopidettä. Nuorten taimikoiden (T1) sekä varttuneiden taimikoiden (T2) pääasialliset hoitotoimenpiteet ovat varhaisperkaus nuorilla taimikoilla sekä taimikonharvennus varttuneilla taimikoilla. Tapion Metsänhoitosuositusten mukaan nuoriin taimikoihin (T1) lukeutuvat taimikot, jonka kasvatettavien puiden keskipituus on 1,3 m tai sen alle. Vastaavasti taas Metsänhoitosuositukset luokittelee varttuneisiin taimikoihin (T2) taimikot, joiden kasvatettavien puiden keskipituus on yli 1,3 m. Varttuneen taimikon keskiläpimitta rinnankorkeudella on oltava alle 8 cm tai valtapituus on männyllä ja kuusella alle 7 m ja koivulla alle 9 m (Tapio 2019, 221.) Taimikon varhaisperkauksella tarkoitetaan hoitotoimenpidettä, jossa kasvatettavan pääpuulajin kasvua haittaava lehtipuusto poistetaan (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2019, 82). Lehtipuuston poistamisella pyritään estämään varjostuksesta ja juuristokilpailusta koituvia kasvutappioita.

Oikea ajankohta varhaisperkauksen onnistumiselle on tärkeää. Kun varhaisperkaus tehdään oikeaan aikaan, voidaan minimoida varhaisperkauksesta koituvat kustannukset sekä lehtipuustosta johtuvat kasvutappiot. Ilman varhaisperkausta puusto useimmiten jää liian tiheäksi muodostaen laatuviikoja ja hidastaen puunkasvua. Lisäksi jälkeempään tehdyt metsänhoitotoimenpiteet ovat huomattavasti sekä työläämpiä että hitaampia toteuttaa. Tästä muodostuu lisää kuluja.

Varhaisperkauksen oikea-aikaisen toteutusajankohdan selvittämisessä tulee ottaa huomioon kasvupaikan rehevyys sekä puuston tiheys. Mitä rehevämpi kasvupaikka on, sitä nopeammin ja tiheämmin lehtipuustoa kasvaa kasvatustaimikossa. Kuitenkin tarpeetonta varhaisperkausta tulisi välttää turhien kulujen välttämiseksi. Samalla turvataan luonnon monimuotoisuutta. Kylvömänniköiden osalta varhaisperkauksen yhteydessä voidaan harventaa kylvötyyppeitä, jos kasvutappioita näyttää muodostuvan.

Varttuneen taimikon käsittely muodostuu taimikonharvennuksesta. Taimikonharvennuksessa turvataan laadukkaiden puiden kasvu. Taimikosta poistetaan siis vialliset puuyksilöt, harvennetaan tiheiköt sekä tasataan puulajisuhteita. Taimikonharvennuksen tavoitteena on lisätä puuston kasvutilaa, joka mahdollistaa puiden järeytymisen. Puuston järeytymisen myötä ensiharvennuksessa saadaan suuremmat tulot sekä metsätuhoja saadaan estettyä. Esimerkiksi lumituhot voivat iskeä nuoriin, ohutrunkoisiin puihin painaen runkoa tai katkoen latvoja (Kankaanhuhta & Väkevä 2013).

4 Tutkimuksen tavoite

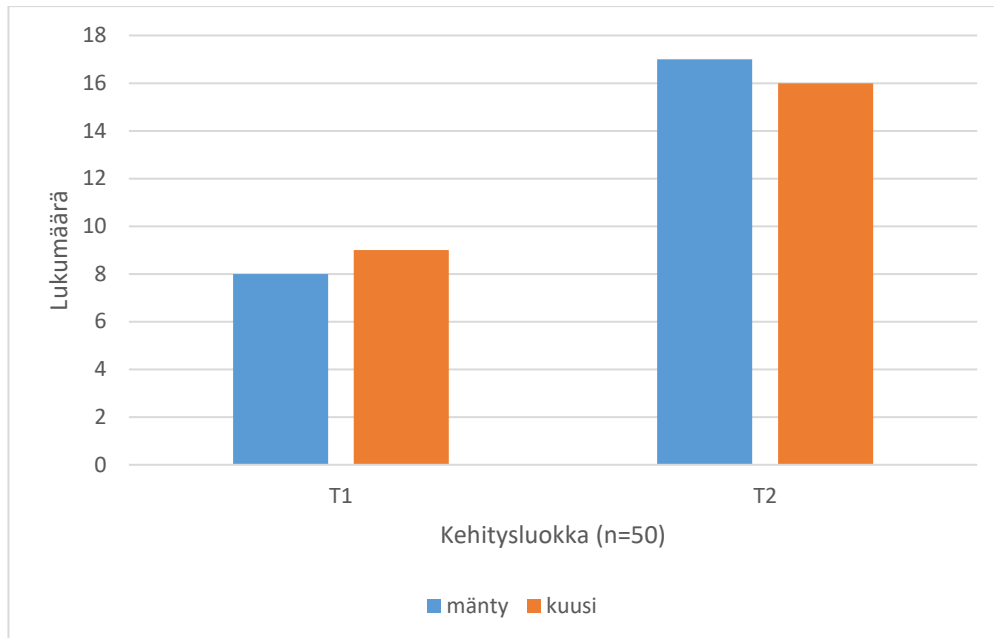
Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten tarkasti laserkeilaamalla hankitut metsävaratiedot taimikoiden osalta pitävät paikkaansa mittausalueilla. Samalla pohdittiin, voidaanko metsäsuunnittelu taimikoiden osalta hoitaa kaukokartoitusmenetelmien harvapulssisen aineiston avulla ilman maastokäyntiä. Tämä edellyttää kaukokartoitusmenetelmin hankitun metsävaratiedon riittävää tarkkuutta. Tätä tutkittiin vertaamalla mitattuja taimikoita ennakoaineistoihin Lieksassa Metsähallituksen hallinnoimissa taimikoissa. On havaittu että, harvapulssisella laserkeilainaineistolla tuotetulla metsävaratiedolla on ollut haasteita taimikoiden tarkassa havainnoinnissa ja tätä lähdettiin tutkimaan (Metsäkeskus 2020b.)

Laserkeilainaineiston tulisi antaa mahdollisimman tarkkaa ennakkotietoa suunnittelutyön helpottamiseksi sekä työn nopeuttamiseksi. Ihanteellisin tilanne olisi se, että tarvittavat toimenpiteet voitaisiin suunnitella mahdollisimman pitkälle toimistotyönä ilman maastokäyntiä. Tämä säästäisi sekä aikaa että kuluja. Tutkimuksessa oli syytä muistaa taimikonhoidon kannalta tärkeimmät tavoitteet eli tukahduttavan puuston havainnointi ja toimenpiteiden oikea-aikaisuus. Mikäli havaittiin, ettei kaukokartoitusmenetelmin hankittu metsävaratieto ole tarpeeksi tarkkaa tai ilmeni muita ongelmia, voitiin perustella maastossa tapahtuvia taimikontarkastuksien jatkamista.

Metsähallitus Metsätalous Oy hoitaa valtion monikäyttömetsien käyttöä. Valtion monikäyttömetsistä saatava puuraaka-aine on PEFC-sertifikaatin mukaista. Vuonna 2019 metsätalouden liikevaihto oli 335 miljoonaa euroa. Puuta myytiin yhteensä 6,3 miljoonaa kuutiometriä, ja talousmetsien kasvu oli 13,3 miljoonaa kuutiometriä. Metsähallitus Metsätalous Oy työllisti vakinaisesti 447 henkilöä ja välillisesti urakoitsijoihin 2 000 henkilöä. Metsähallitus Metsätalous Oy hallinnoi yhteensä 3,5 miljoonaa ha monikäyttömetsää, joista ilman rajoituksia on noin 2,7 miljoonaa ha. Kyseiset rajoitukset voivat olla esimerkiksi luonnon monimuotoisuutta turvaavia rajoituksia. (Metsähallitus 2020a.)

5 Aineistojen valinta

Tutkimus aloitettiin keräämällä taimikoiden laserkeilaustiedot Silvia-suunnitteluohjelmasta. Tiedot kerättiin Excel- ja SPSS-tiedostoihin tarkastelun helpottamiseksi. Laserkeilauksella saatuina ennakkotietoina kerättiin pituus (h), runkoluku (kpl/ha), keskiläpimitta rinnankorkeudelta (d 1,3) ja puulajisuhteet. Taimikoiden valinnat toteutettiin siten, että kesän 2020 tarkastukseen tulevista taimikoista valittiin ensimmäiset 50 havupuuvaltaista taimikkoa, jotka täyttivät seuraavat kriteerit: taimikoiden tuli olla kuusi- tai mäntyvaltaisia ja kehitysluokaltaan T1 tai T2. Taimikkojen jakaumaa voidaan tarkastella kuviossa 1. Mäntyvaltaisia taimikoita oli 25 ja kuusivaltaisia taimikoita 25. Mäntyvaltaisista taimikoista 8 vastasi kehitysluokaltaan T1:tä ja loput 17 puolestaan T2:ta. Kuusivaltaisten taimikoiden osalta jakauma oli seuraavanlainen: kehitysluokaltaan T1 saavuttavia taimikoita oli 9 ja loput 16 edusti kehitysluokkaa T2.



Kuvio 1. Mitattavien taimikoiden kehitysluokkajakauma havupuuvaltaisissa taimikoissa.

Ennakkotietojen taulukoimisen jälkeen voitiin siirtyä maastomittaukseen. Maastomittaus toteutettiin linjoittaisilla ympyräkoealoina bussolin avulla. Ympyräkoealojen otannassa hyödynnettiin mittakeppiä ja koealojen linjoittaisessa sijoittelussa bussolia. Koealojen määrään vaikutti taimikkokuvion koko. Lopuksi maastomittauksista verrattiin ennakkotietoihin ja tarvittavien testien avulla luotettavuus saatiin selville.

Taimikoiden maastomittauksissa hyödynnettiin ympyräkoelaa sen tehokkuuden vuoksi. Ympyräkoealoilta kerätyt tiedot lisättiin maastomittauksista varten tehtyyn lomakkeeseen, johon merkittiin sekä laserkeilauksesta saadut ennakkotiedot että maastomittauksessa todetut tiedot (liite 1). Maastomittauksessa hyödynnettiin mittakeppiä, jonka pituus oli 5,64 m. Ympyräkoealalta saatiin tarkkaa tietoa pieneltä alueelta, jota voitiin suhteuttaa suurempaan alueeseen. Ympyräkoealaa hyödynnettiin laskettavien puiden selvittämisessä. Mittaukset tehtiin nuoriin taimikoihin (T1) sekä varttuneisiin taimikoihin (T2).

Ympyräkoealassa huomioitiin vain sellaiset taimet, jotka olivat vähintään puolet kasvatettavien taimien pituudesta. Lisäksi kaikki lehtipuut luettiin yhdeksi lajiksi, lehtipuu. Koealamittaukset suoritettiin linjamittauksina. Linjamittaus tapahtui siten, että bussolia hyödyntäen katsottiin taimikon sisältä suora linja ja koealat

sijoitettiin tälle linjalle. Koealojen lukumäärä katsottiin Tapion Maastotaulukoista, joissa ohjeistetaan koealojen lukumäärä taimikon pinta-alaan nähden (taulukko 2). Koealojen sijoittelu voitiin aloittaa puolen koealan mitan päästä taimikkokuvion reunasta. 5,64 m mittakepin kanssa tämä tarkoitti 2,82 m etäisyyttä kuvion reunasta kuvion sisäänpäin mitattuna.

6 Analyysimenetelmät

Maastomittauksilla saatuja tuloksia verrattiin kaukokartoitusmenetelmillä saatuihin ennakkotietoihin. Tästä saatiin tietoa siitä, miten tarkkoja ennakkotiedot ovat. Tulokset siirrettiin analysointia varten SPSS-laskentaohjelmaan. Laskentaohjelmalla laskettiin keskihajonnat pituudelle ja runkoluvulle. Tästä saatiin selville, miten suuri hajonta kunkin taimikon sisällä on. Keskihajontaa tulkitsemalla saatiin käsitys siitä miten suurelle hajonnalle keskiarvosta taimikon runkoluku ja pituus sijoittuvat. Keskihajonnan laskemisessa oli otettava huomioon taimikon koko, jonka mukaan otosten määrä saatiin selville.

Keskihajonnan määrittämisen jälkeen voitiin tarkastella luottamusväliä. Tuloksia tarkasteltiin 95 % luottamusvälillä. Lisäksi tuloksista voitiin selvittää, löytyikö otannasta systemaattisesti toistuvia virheitä. Lopuksi tulokset kasattiin taulukoihin tuloksien tulkinnan helpottamiseksi.

6.1 Kahden riippumattoman otoksen vertailu

Kun haluttiin selvittää, oliko maastomittauksen ja laserkeilauksen välisten tulosten keskiarvolla merkitsevää eroa vai johtuiko ero pelkästään otantavirheestä, oli syytä suorittaa kahden riippumattoman otoksen vertailua. Kahden riippumattoman otoksen vertailu voitiin suorittaa T-testiä käyttämällä. T-testi vaatii onnistuakseen sen, että aineisto oli normaalijakautunutta. Jos aineisto ei ollut normaalijakautunutta, voitiin hyödyntää Mann-Whitneyn U-testiä. Mann-

Whitneyn U-testi ei vaadi aineiston normaalijakautuneisuutta ja se sopii esimerkiksi mielipiteiden analysointiin. Tuloksiin saatiin p-arvo, joka ilmaisi todennäköisyyden sille, että mitattavien tunnusten keskiarvojen ero selittyy pelkästään otantavirheellä.

Testien yhteydessä oli hyvä pohtia käytetäänkö yhtäsuurten vai erisuurten varianssien testiä. Varianssilla tarkoitetaan keskihajonnan toista potenssia (Tilastokeskus, 2021). Jos mitattavien tunnusten varianssit ovat likimain yhtä suuret, voidaan hyödyntää yhtäsuurten varianssien testiä. SPSS -analysointiohjelmalla voitiin tehdä Levene-testi, jolla varianssi voitiin tarkastaa. Jos Levene-testin p-arvon tulokseksi saatiin vähintään 0,05 käytettiin yhtäsuurten varianssien testiä ja jos p-arvo oli tätä pienempi niin käytettiin erisuurten varianssien testiä. Otoksoon suuruudella oli merkittävä rooli testin luotettavuuteen. Mitä enemmän tuloksia on, sitä luotettavampia tuloksia saadaan. Otoksokojen olisikin hyvä olla vähintään 30, jotta testiä voidaan käyttää luotettavasti. (Tanninen, 2020b.)

Aineiston normaalijakaumaa selvittäessä 0-hypoteesiksi asetettiin tilanne, jossa tutkimustulokset ja laserkeilainaineistot ovat samassa jakaumassa. Vastahypoteesina olisi päinvastainen tilanne, jossa aineistot eivät olisi samassa jakaumassa. Jos normaalijakauman p-arvo olisi yli 0,05 jäisi 0-hypoteesi voimaan. Jos aineistojen todettiin olevan normaalijakautuneita, voitiin käyttää T-testiä aineistojen välisten riippuvuuksien tutkimisessa. Vastaavasti jos aineistot eivät olisi normaalijakautuneita voitaisiin käyttää Mann-Whitneyn U-testiä.

Kahden riippumattoman muuttujan vertailun tuloksena saataisiin tieto siitä, onko aineistojen välillä riippuvuutta. Kahden riippumattoman otoksen t-testin 0-hypoteesiksi asetettiin tilanne, jossa tarkasteltavan muuttujan keskiarvo olisi molemmissa riippumattomissa tarkastelun kohteissa olevissa muuttujissa yhtäsuuri. Vastahypoteesiksi asetettiin tilanne, jossa muuttujien keskiarvot olisivat erisuuret.

Kahden toisistaan riippumattomien aineistojen riippuvuuden selvittämisessä saadaan selville, miten merkittävä ero on. P-arvo osoittaa tässä eron

merkitsevyyden. Tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä, jos p-arvoksi saadaan pienempi arvo kuin 0,001. Tilastollisesti merkitsevä tulos vaatii p-arvoksi vähintään 0,01 ja tilastollisesti melkein merkitsevä vaatii p-arvoksi 0,05. Tulokset ovat näkyvissä liitteessä 2.

6.2 Luottamusväli

Luottamusvälin avulla voidaan ilmoittaa otoskeskiarvon alue, jolle perusjoukon odotusarvo todennäköisesti sijoittuu. Luottamusväli on keskeinen käsite puhuttaessa tilastollisesta päättelystä. Tässä tutkimuksessa luottamusvälinä käytettiin 95 %:n luottamusväliä, joka on yksi yleisimmistä tarkasteltavista luottamusväleistä (Tilastokeskus 2020). Luottamusväliprosentti osoittaa todennäköisyyden, jolla tarkasteltava muuttuja sijoittuu luottamusväliin. Samalla ilmoitetaan luottamusvälin pienin ja suurin arvo. Luottamusvälin laskemisessa huomioidaan otosten määrä, keskihajonta sekä luottamusväliprosentti. Yleisimmät luottamusväliprosentit ovat 90, 95 sekä 99,9 (Tilastokeskus 2020).

6.3 Regressioanalyysi

Regressioanalyysin avulla voitiin selvittää useamman selittävän muuttujan vaikutuksia toisiinsa. Regressioanalyysin avulla pyritään tässä tutkimuksessa selvittämään, onko mittaustavan ja puulajin välillä vaikutusta tuloksiin ja jos on, miten merkitsevä vaikutus on. Otoskokoa kasvattamalla mallista saadaan luotettavampi. Tarkasteltaessa yhden muuttujan regressiomalleja riittävänä otoskokona voidaan pitää vähintään 20 otoksen aineistoa. Jos puolestaan tarkastellaan useamman muuttujan vaikutuksia toisiinsa, on aineiston syytä olla vähintään 50 otoksen suuruinen. (Tanninen, 2020a, 1.) Virheellisten tulosten estämiseksi aineistosta ei huomioitu vastinparittomia mittaustuloksia.

Lineaarisen regressioanalyysin tuloksena saadaan selityskerroin (R square), joka kuvastaa mallin yhteensopivuutta otokseen suhteutettuna. Mallille saadaan parempi selityskerroin, kun muuttujat asettuvat lähelle lineaarisen mallin

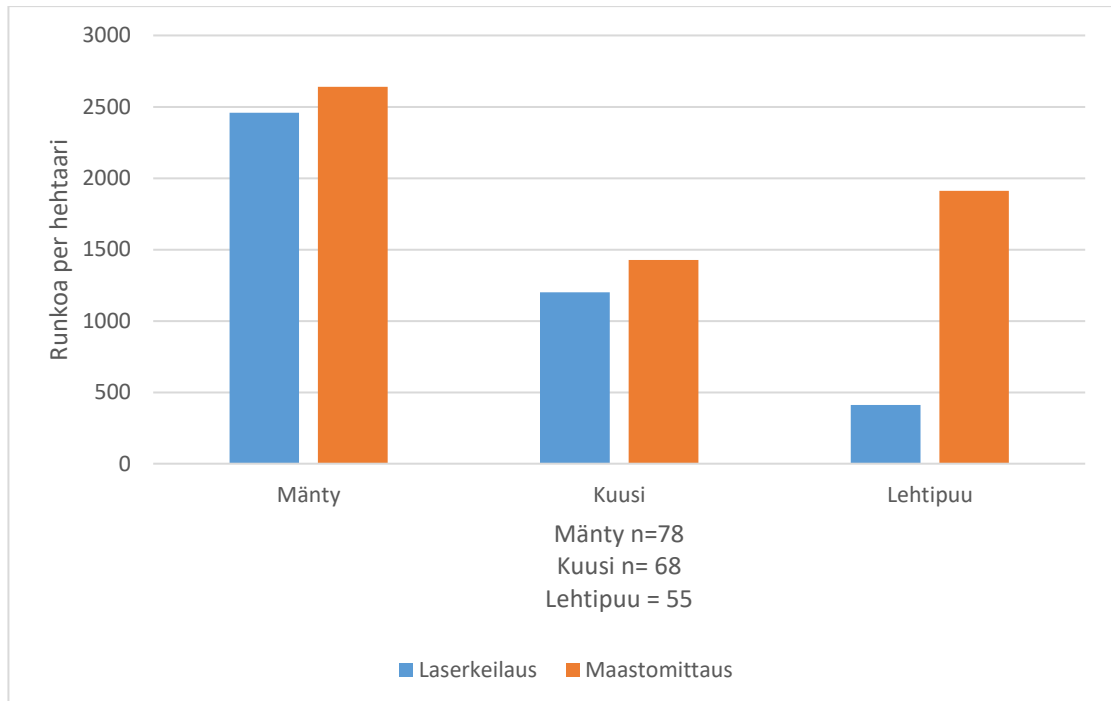
regressiosuoraa. Tällä kuvataan mallin hyvyttä otokseen nähden. (Taanila 2020a, 18–19.)

7 Tulokset

7.1 Tulokset mäntyvaltaisissa taimikoissa

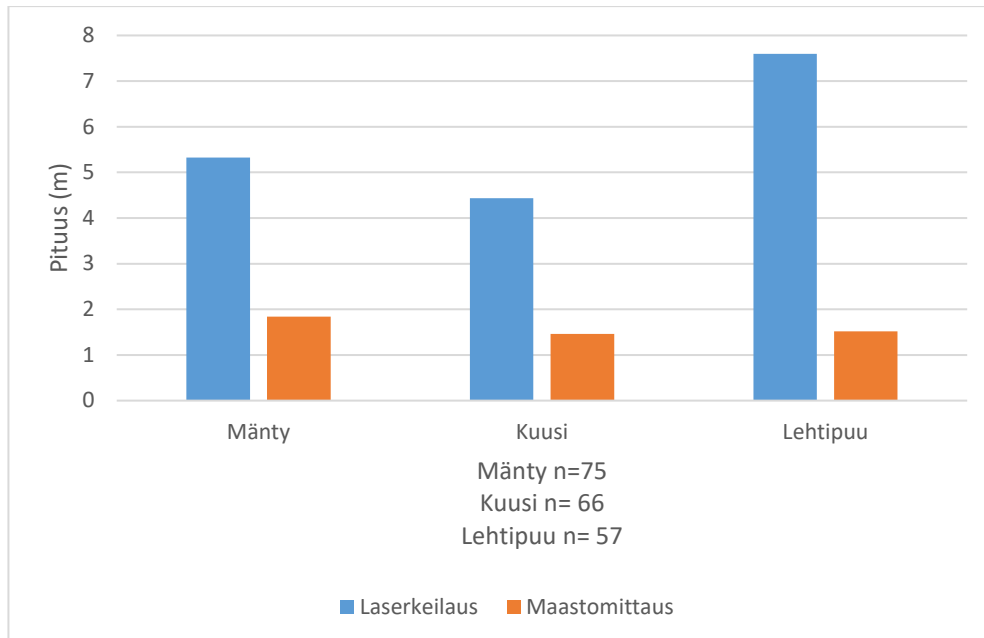
Runkolukua tarkasteltaessa keskiarvojen osalta saatiin laserkeilauksella tulokseksi 2 457 kpl/ha (95 % 1 832–3 083 kpl/ha) ja maastomittauksessa luvun todettiin olevan hieman suurempi, 2 639 kpl/ha (95 % 2 206–3 071 kpl/ha). Kuten kuvioista 2 voidaan havaita, on laserkeilaimella runkoluvun ennustaminen onnistunut parhaiten juuri männyn osalta. P-arvon ollessa 0,01 eli 1 % 0-hypoteesi päätettiin hylätä, jolloin vastahypoteesi astui voimaan. Mann-Whitneyn U-testin 0-hypoteesi päätettiin pitää p-arvon ollessa 0,670 eli 67 %. Otoksia Mann-Whitneyn U-testissä oli yhteensä 78.

Regressioanalyysillä saatiin onnistuneita tuloksia vain havupuiden runkolukujen osalta. Männyn runkoluvulle regressioanalyysillä selityskertoimeksi saatiin 75,9 % ja korjatuksi selityskertoimeksi 75,3 %. Mallin merkitsevyyden testillä p-arvoksi saatiin 0,00, joten mallia voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä.



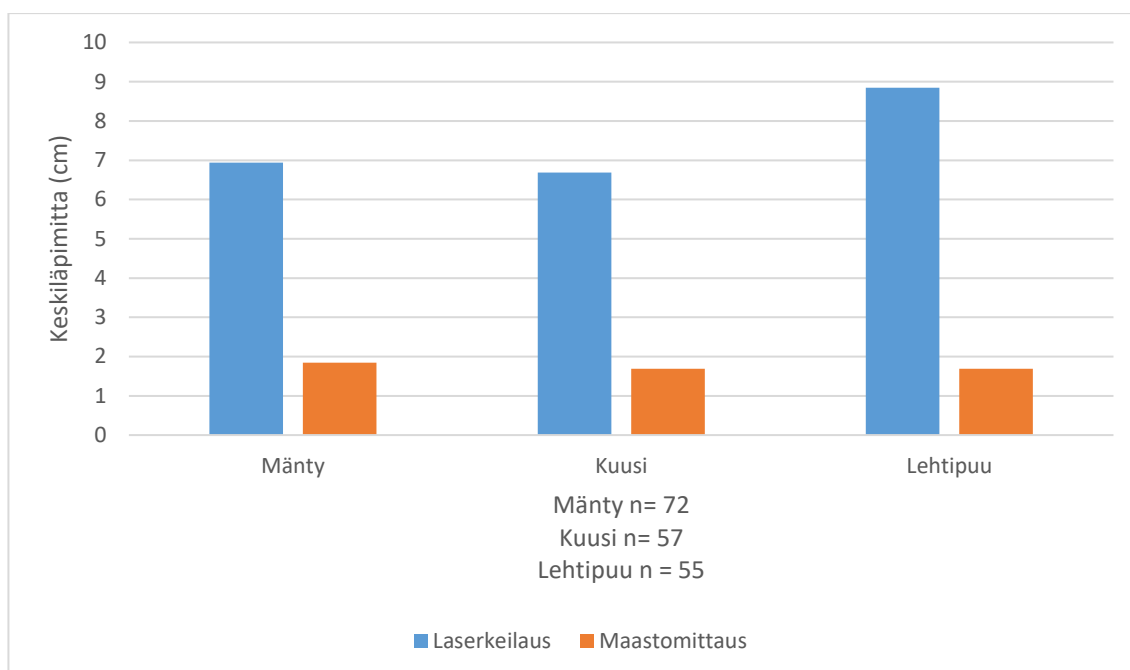
Kuvio 2. Runkoluvun keskiarvollinen jakauma puulajeittain (T1 & T2).

Keskipituudeksi männylle saatiin 75 otoksen osalta laserkeilauksella 5,32 m (95 % 3,21–7,43 m) ja maastomittauksessa luvun todettiin olevan maltillisempi 1,89 m (95 % 1,51–2,16 m). Eroa muodostui laserkeilauksessa etenkin viereisten puustokuvioiden vuoksi. Maastossa oli tilanteita, joissa todettiin viereisen puuston olevan varttunutta männikköä, joihin taimikoiden tiedot sekoittuivat. Myös pituuden osalta päätettiin käyttää Mann-Whitneyn U-testiä, jolla todettiin p-arvon olevan 0,025 eli 2,5 %, eli ero on tilastollisesti melkein merkitsevä. Kuten kuviosta 3 voidaan nähdä, on virheellisten laserkeilaustulosten merkitys suuri.



Kuvio 3. Keskipituuden jakauma puulajien välillä (T1 & T2).

Männyn keskiläpimittaa tarkasteltaessa voidaan nähdä, että laserkeilauksella saadut keskiläpimitat ovat huomattavasti suuremmat kuin maastomittauksella todetut. Kuten kuviosta 4. voidaan nähdä männyn laserkeilauksen keskiläpimitta vastasi 6,9 cm (95 % 3,95–9,92 cm) läpimittaa, kun taas todellisuudessa keskiläpimitta oli 1,8 cm (95 % 1,50–2,19 cm). Otoksia keskiläpimitan osalta muodostui yhteensä 72 kpl. Mann-Whitney U-testillä p-arvon tulokseksi saatiin 0,015. Mann-Whitney U-testin tuloksen perusteella 0-hypoteesi päätettiin hylätä ja ero on tilastollisesti melkein merkitsevä. Laserkeilauksen ja maastomittauksen välillä ei ollut samaa jakaumaa.



Kuvio 4. Keskiläpimitan jakauma puulajien välillä (T1 & T2).

Kun tarkastellaan pelkästään kehitysluokkaa T1, laskee otoskoko 23 kappaleeseen. Voidaan olettaa, että pienempi otoskoko vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Runkoluvuksi laserkeilauksella männylle kehitysluokassa T1 saatiin 2 015 kpl/ha (95 % 768–3 261 kpl/ha). Maastomittauksessa puolestaan runkoluvun todettiin keskiarvallisesti olevan 2 639 kpl/ha (95 % 2 206–3 071 kpl/ha). T-testin tuloksena p-arvoksi saatiin 0,113, joka tukee 0-hypoteesia. Regressioanalyysillä selityskertoimeksi saatiin 0,565 eli 56,5 %. Korjatuksi selityskertoimeksi saatiin 0,51 eli 51 %. Mallin merkitsevyyden asteeksi saatiin 0,12 eli 12 %. Mallia ei voida pitää tilastollisesti merkitsevänä.

Keskipituuden osalta kehitysluokassa T1 laserkeilauksella oli haastavuuksia saada tarkkaa pituutta ennustetuksi. Myös pituuden otoskoko oli 22, jota voidaan pitää osasyynä heikkoon tulokseen. Keskiarvoksi pituudelle laserkeilaus antoi 7,33 m (95 % -0,90–15,56 m). Maastomittauksessa tulokseksi puolestaan saatiin keskiarvona 0,76 m (95 % 0,50–1,03 m). Pituuden osalta on nähtävissä virhearvioita laserkeilauksen tuloksissa. Mann-Whitneyn U-testillä 0-hypoteesi päätettiin säilyttää p-arvon ollessa 0,75.

Keskiläpimitan suhteen laserkeilauksen vaikeudet jatkuivat. Otoksia keskiläpimitalle muodostui 22. Keskiläpimitaksi saatiin laserkeilauksella 7,33 cm

(95 % -0,90–15,56 cm) ja maastomittauksessa tuloksesi saatiin 0,76 cm (95 % 0,50–1,0 cm). Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0,50. 0-hypoteesi jäi voimaan, joten aineistojen välillä oli sama jakauma. Suuret heitot kehitysluokassa T1 voidaan selittää harhalukemilla ja pienellä otoskoolla.

Kun tarkasteluun otetaan pelkästään kehitysluokan T2 männiköt saadaan parempia tuloksia kuin kehitysluokassa T1. Otoskoko nousee 55 kappaleeseen. Runkolukua tarkasteltaessa laserkeilauksella kehitysluokassa T2 saadaan hyvin tarkkaa tietoa. Runkoluvuksi laserkeilaus antoi 2 621 kpl/ha (95 % 1 858–3 384 kpl/ha) kun taas maastomittauksessa saatiin runkoluvuksi 2 603 kpl/ha (95 % 2 034–3 172 kpl/ha). Laserkeilauksella onnistuttiin saamaan hyvin lähelle oikea tulos. Mann-Whitney U-testillä saatiin p-arvoksi 0,98, jolloin voitiin todeta aineistojen välillä olevan sama jakauma. Myös regressioanalyysillä saatiin parempaa tulosta kehitysluokassa T2 kuin kehitysluokassa T1. Selityskertoimeksi saatiin 0,875 eli 87,5 %, korjatuksi selityskertoimeksi 0,87 eli 87 % ja mallin merkitsevyyden asteeksi 0. Mallia voidaan pitää siis tilastollisesti erittäin merkitsevänä.

Kehitysluokassa T2 keskipituudeksi laserkeilauksessa saatiin 5,15 m (95 % 2,90–7,40 m). Maastomittauksella vastaavat lukemat olivat 2,37 m (95 % 2,09–2,65 m). Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0,114. 0-hypoteesi jäi tällöin voimaan.

Keskiläpimitan osalta tilanne oli samankaltainen kuin pituudella. Laserkeilaus antoi liian suuria arvoja. Keskiläpimitaksi laserkeilauksella saatiin 6,79 cm (95 % 3,56–10,01 cm) ja maastomittauksella 2,35 cm (95 % 2,07–2,64 cm). Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0, jolloin 0-hypoteesi hylättiin. Aineistojen välillä ei ollut samaa jakaumaa.

7.2 Tulokset kuusivaltaisissa taimikoissa

Normaalijakaumaa tarkasteltaessa kuusen osalta voitiin aineistojen todeta olevan keskenään eri jakaumissa. 0-hypoteesiksi asetettiin sama tilanne kuin männyn osalta, eli oletetaan aineistojen olevan keskenään samassa

jakaumassa. P-arvoksi saatiin 0, joka tukee vastahypoteesia. Aineisto ei ollut normaalijakautunutta kuusella runkoluvun suhteen. Kuuselle laserkeilaus antoi keskiarvolliseksi runkoluvuksi 1 199 kpl/ha (95 % 946,86–1 453,01 kpl/ha). Maastomittauksessa luvun todettiin olevan suurempi. Maastomittauksessa tulokseksi saatiin 1 427 kpl/ha (95 % 1 172,92–1 681,62 kpl/ha). Kuten kuviossa 2 voidaan nähdä, on runkoluvun ero kuusen osalta keskiarvollisesti hyvin maltillinen.

Mann-Whitney U-testi osoitti, että kuusen runkoluvun mittauksessa laserkeilauksen ja maastomittauksen keskiarvojen välillä oli sama jakauma. P-arvoksi saatiin 0,87. Otoksia kuusen runkoluvussa oli 68 kpl. Runkoluvun osalta regressioanalyysillä selityskertoimeksi saatiin 78,3 %. Korjattu selityskerroin antoi lukeman 77,6 %. Mallin merkitsevyyden p-arvoksi saatiin 0,00, joten mallin voidaan todeta olevan tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Keskipituutta kuuselle saatiin laserkeilauksessa 4,43 m (95 % 2,85–6,01 m) ja maastomittauksissa keskiarvoksi pituutta saatiin 1,46 m (95 % 1,03–1,89 m). Kuten kuviosta 3 voidaan nähdä, myös kuusen laserkeilauksella saadut pituuden keskiarvot ovat huomattavasti suuremmat kuin maastomittauksessa. Mann-Whitney U-testi osoitti kuusen pituuden saavan p-arvoksi 0,001. Myöskään keskipituuden osalta 0-hypoteesia ei päätetty noudattaa vaan mittaustapojen keskiarvojen välillä todettiin olevan eri jakaumat. Keskipituuden otoksia kuuselle muodostui yhteensä 66.

Kuusen keskiläpimitaksi laserkeilauksella saatiin 6,68 cm (95 % 4,28–9,09 cm) ja maastomittauksella keskiarvoksi saatiin maltillisempi 1,68 cm (95 % 1,16–2,21 cm). Kuten taulukosta 6 voidaan nähdä ovat kuusen läpimitan erot mittaustapojen välillä lähes samanlaiset kuin männyllä. Kuusen läpimitan aineiston ollessa normaalijakautumatonta saatiin Mann-Whitney U-testillä p-arvoksi 0,013. Läpimitan Mann-Whitney U-testin 0-hypoteesi päätettiin hylätä. Otoksia kuusen läpimitalle saatiin yhteensä 57.

Kuusen runkoluvun määrittäminen kehitysluokalle T1 onnistui laserkeilauksella erittäin hyvin. Laserkeilauksella saatu keskimääräinen tulos oli 1 322 kpl/ha (95

% 968–1 675 kpl/ha) ja maastomittauksella saatu tulos oli 1 325 kpl/ha (95 % 954–1 695 kpl/ha). Tulosta voidaan pitää hyvin onnistuneena. Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0,843, joten 0-hypoteesi jäi voimaan p-arvon ollessa yli 0,05. Otokokona kuusen runkoluvulle kehitysluokassa T1 oli 27. Lineaarilla regressioanalyysillä saatiin erittäin hyvä selityskerroin 0,987 eli 98,7 %. Korjattu selityskerroin oli 98,6 %, ja mallin merkitsevyyden arvoksi saatiin 0, joten mallia voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä.

Keskipituuden määrittäminen ei onnistunut yhtä hyvin kuin runkoluvun määrittäminen. Laserkeilauksella keskipituudeksi saatiin 1,90 m (95 % -0,78–4,6 m) ja maastomittauksella saatiin 0,39 m (95 % 0,22–0,56 m). Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0,15, joten 0-hypoteesi jäi voimaan. Aineistot olivat samassa jakaumassa. Otokoko pituuden osalta oli 24.

Keskiläpimittaa tarkasteltaessa voidaan nähdä samankaltaista suuntausta kuin pituudenkin osalta - laserkeilaus antoi liian suuria lukemia. Laserkeilauksella kehitysluokassa T1 kuusen keskiläpimitta oli 3,33 cm (95 % -1,54–8,21 cm), kun taas maastomittauksella lukemat olivat 0,75 cm (95 % 0,46–1,03 cm). Otokoko läpimitan osalta oli 21. Mann-Whitneyn U-testillä 0-hypoteesi hylättiin p-arvon ollessa 0,83. Aineistojen välillä oli sama jakauma.

Runkoluvun määrittäminen kehitysluokalle T2 onnistui verrattain hyvin. Otokooksi runkoluvun määrittämiselle muodostui 44. Laserkeilauksella keskimääräiseksi runkoluvuksi saatiin 1 136 kpl/ha (95 % 781–1 490 kpl/ha) ja maastomittauksella 1 485 kpl/ha (95 % 1 125–1 845 kpl/ha). Laserkeilauksella saatiin pienempiä arvoja, kuin mitä arvot todellisuudessa olivat. Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0,61, eli aineistojen välillä oli sama jakauma. Regressioanalyysillä selityskerroin saatiin 0,79 eli 79 %. Korjatuksi selityskertoimeksi saatiin 0,78 eli 78 %. Mallin merkitsevyyden asteeksi saatiin 0, joten mallia voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä.

Pituuden suhteen laserkeilaus ennusti liian suuria arvoja. Kaukokartoittamalla saatiin keskipituudeksi 5,76 m (95 % 3,9–7,5 m), kun taas maastomittauksella keskipituuden todettiin olevan 2,12 m (95 % 1,6–2,6 m) otokseen ollessa 41. T-

testin p-arvon ollessa 0 voitiin todeta, ettei yhteistä jakaumaa aineistojen välillä ollut. T-testin tulosta voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä.

Läpimitan määrittäminen laserkeilauksella oli haasteellista. Otokoko oli jälleen 41. Laserkeilauksella saatiin keskiläpimitaksi 8,2 cm (95 % 5,46–10,9 cm) ja maastomittauksella saatiin 2,14 cm (95 % 1,58–2,70 cm). Laserkeilauksella saatiin huomattavasti suurempia arvoja. T-testin p-arvon ollessa 0 voidaan todeta, ettei yhteistä jakaumaa löytynyt ja tulos on tilastollisesti erittäin merkitsevä.

7.3 Lehtipuiden havainnointi

Lehtipuiden osalta luotettavien tulosten saaminen olit oletetusti haastavampaa kuin havupuilla. Lehtipuilla keskimääräisen runkoluvun tulokset laserkeilauksen ja maastomittauksen välillä erosi puulajeista eniten (kuvio 4). Laserkeilauksessa keskimääräiseksi runkoluvuksi saatiin 410 kpl/ha (95 % 155-664 kpl/ha) ja maastomittauksessa 1 911 kpl/ha (95 % 1 411–2 410 kpl/ha). Otoksia mittauksille runkoluvun osalta tuli yhteensä 55. Laserkeilauksen ja maastomittauksen normaalijakauman p-arvot olivat ristiriidassa keskenään, joten otoskoon ollessa riittävä päätettiin käyttää Mann-Whitney U-testiä riippuvuuden selvittämiseksi. Mann-Whitney U-testin p-arvoksi saatiin 0, joten 0-hypoteesi päätettiin hylätä. Tulos oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Regressioanalyysissä ei lehtipuuston osalta saatu tuloksia.

Keskipituutta lehtipuille laserkeilaus ennusti 7,6 m (95 % 5,26–9,93 m) kun taas maastomittauksessa todetut pituudet olivat keskiarvoltaan 1,51 m (95 % 1,22–1,81 m). Keskipituuden osalta aineisto ei ollut normaalijakautunut p-arvon ollessa alle 0,005. Mann-Whitney U-testin tuloksena p-arvoksi saatiin 0, joka tarkoitti ettei aineistojen välillä ollut riippuvuutta. Keskipituuden mittaustuloksia saatiin 55.

Myös keskiläpimitalle otoskoko oli sama 55. Laserkeilauksella keskiläpimitaksi saatiin 8,85 cm (95 % 5,99–11,70 cm) ja maastomittauksessa 1,68 cm (95 % 1,38–1,98 cm). Kuten kuvioista 4 voidaan nähdä, oli keskiläpimitan ennustaminen

kaikille puulajeille haastavaa, mutta lehtipuun osalta tulokset heittivät eniten. Keskiläpimitan osalta hyödynnettiin Mann-Whitneyn U-testiä, jolla p-arvoksi saatiin 0, jonka myötä 0-hypoteesi päätettiin hylätä. Aineistojen välillä ei ollut riippuvuutta. Tuloksia voidaan pitää tilastollisesti erittäin merkitsevänä.

Lehtipuiden määrittämisen haastavuus jatkui molemmilla kehitysluokilla. Laserkeilauksella kehitysluokan T1 runkoluvun keskiarvoksi otoskoon ollessa 19 saatiin 581 kpl/ha (95 % -517–1 679 kpl/ha) ja maastomittauksella 2 833 kpl/ha (95 % 2 014–3 651 kpl/ha). Erot olivat suhteellisen suuria. Mann-Whitneyn U-testillä p-arvoksi saatiin 0,006, joten 0-hypoteesi hylättiin eikä aineistojen välillä ollut samaa jakaumaa. Regressioanalyysillä ei saatu tuloksia lehtipuiden osalta.

Laserkeilaus ennusti kehitysluokan T1 keskipituudeksi 5,5 m (95 % -4,6–15,6 m) ja maastomittauksessa lukujen todettiin olevan keskiarvoltaan 1,08 m (95 % 0,73–1,43 m). Otskokona oli sama 19. Mann-Whitney U-testillä saatiin p-arvon tulokseksi 1, joten aineistojen välillä oli sama jakauma.

Myös läpimitan arvioinnissa laserkeilauksella oli haasteita. Laserkeilaus tuotti lähtöaineistoksi lehtipuulle keskiläpimitäksi 5,75 cm (95 % -4,83–16,33 cm), kun taas maastomittauksessa todettiin keskiläpimitan olevan 1,21 cm (95 % 0,81–1,61 cm). Etenkin läpimitan osalta voidaan todeta laserkeilauksella olevan suuria haasteita lehtipuiden suhteen. Mann-Whitneyn U-testi osoitti aineistojen olevan samassa jakaumassa p-arvon tuloksella 1,00.

Laserkeilauksella oli haasteita tuottaa luotettavaa tietoa sekä kehitysluokan T1 että kehitysluokan T2 lehtipuista. Laserkeilauksella runkoluvuksi saatiin 364 kpl/ha (95 % 90–639 kpl/ha) otoskoon ollessa 36. Maastomittauksessa runkoluvun todettiin olevan suurempi. Keskimääräiseksi runkoluvuksi saatiin kehitysluokan T2 lehtipuulle 1 252 kpl/ha (95 % 754–1 750 kpl/ha). Mann-Whitneyn U-testillä 0-hypoteesi hylättiin eli aineistojen välistä jakaumaa ei löytynyt. Tuloksena tällöin oli 0,002, joka on tilastollisesti merkitsevä.

Keskipituuden osalta laserkeilaus ennusti liian suuria arvoja. Keskipituudeksi laserkeilaus antoi 8,12 m (95 % 5,62–10,62 m) ja maastomittaus 1,81 m (95 %

1,41–2,22 m). Voidaan todeta, ettei laserkeilauksella saatu pienimpiä puita selville. Myöskään pituuden osalta aineistojen välillä ei ollut samaa jakauma. P-arvoksi saatiin 0.

Keskiläpimitan suhteen tulokset pysyivät suhteellisen samanlaisina. Laserkeilaus tuotti tietoja viereisistä kuvioista ja keskiläpimitaksi saatiin 9,62 cm (95 % 6,47–12,77 cm). Maastomittauksissa keskiläpimitaksi mitattiin 2 cm (95 % 1,61–2,38 cm). Keskipituuden osalta Mann-Whitney U-testi osoitti, ettei aineistojen välillä ollut yhteistä jakaumaa. P-arvona Mann-Whitneyn U-testillä oli 0.

8 Pohdinta

8.1 Tulosten tarkastelu

Tulosten arvioinnissa voidaan apuna käyttää Närhen, Maltamon, Packalenin, Peltolan ja Soimasuon vuonna 2008 tekemää tutkimusta Kuusen taimikoiden inventointi ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittäminen laserkeilauksen ja metsäsuunnitelmätietojen avulla. Tutkimuksessa Närhi ym. tutkivat, voidaanko taimikonhoitotarve määrittää kaukokartoitusmenetelmin luotettavasti. Tutkimus suoritettiin Sonkajärven kunnan alueella, ja siihen valittiin yhteensä 25 taimikkoa, joista inventoitiin 195 koelarypystä. Pistetiheytenä kaukokartoituksena tutkimuksessa käytettiin harvapulssista aineistoa 0,5 pulssia neliometriä kohti.

Tutkimuksessa mitattiin kuusivaltaisia taimikoita, joiden pituusvaihtelut olivat 2–8 metrin välillä. Tutkimuksen ei huomioitu alle 2 metrin taimikoita. Närhi ym. saivat tutkimuksessaan suhteelliseksi keskivirheeksi 15,9 %. Vastaavanlaisella mallilla tuotettu tiheys oli suhteelliselta keskivirheeltään noin 40 %. Närhi ym. onnistuivat siis luomaan tutkimuksessaan tarkemman maastomallin. Pelkillä laserpisteaineistoilla tuotettu mallinnus puuston tiheydestä tuotti suhteelliseksi keskivirheeksi 45,2 %. Lisäksi tutkimuksessa mainitaan taimikoiden, joiden pituus jää alle 1,5 metrin, olevan laserkeilaukselle mahdottomia inventoida. Kiireellisyysluokittelu suoralla erotteluanalyysillä antoi oikeinluokitusprosentiksi

71,8 % ja sekamalleihin perustuvat puuston pituus – ja tiheystimaatit oikeinluokitusprosentiksi 69,2 %. Täytyy kuitenkin muistaa, että tutkimuksessa ei huomioitu muuta kuin yli 1,5 metrin kuusitaimikoita. Kyseiset tulokset antoivat tutkimuksessa viitteitä siitä, että laserkeilaus voi hyvinkin soveltua varttuneiden taimikoiden inventointiin ja taimikonhoidon ajankohdan määrittämiseen.

Verrattaessa Närhen ym. suorittamaa tutkimusta on syytä muistaa, että tutkimus on tehty vuonna 2008, joten sekä laserkeilauksen, että tulosten tulkinnan kehityksessä on menty eteenpäin. Lisäksi kyseisessä tutkimuksessa ei tutkittu alle 1,5 metrin taimia ja tutkittiin ainoastaan puulajia kuusi. Närhen ym. tutkimuksessa mainitaan laserkeilauksen voivan soveltua varttuneiden taimikoiden inventointiin. Tähän antaa viitteitä myös tämä tutkimus. Lisäksi on syytä muistaa, että Närhen ym. suorittamassa tutkimuksessa hyödynnettiin harvapulssista aineistoa.

Vastaranta, Ojansuu & Holopainen tutkivat vuonna 2010 julkaistussa tutkimuksessaan Puustotunnusten laskennallisen ajantasaistuksen luotettavuus – tapaustutkimus Pohjois-Savossa, puustotunnusten tarkkuutta 84 kuviolla Pohjois-Savon metsäkeskuksen suunnittelualueella Kerkonjoensuussa. Kuviot edustivat neljää eri metsikkötyyppiä ja niistä mitattiin tarkat mittatiedot systemaattisella koealaotannalla. Tutkimuksessa keskityttiin etenkin ensiharvennusvaiheen metsiköihin ja laserkeilausaineistona käytettiin tiheäpulsista aineistoa (10 pulssia / m²). Tarkastelujakso kesti 7 vuotta.

Tiheäpulsissisen aineiston perusteella kiireelliset ensiharvennuskohteet pystyttiin löytämään 83–86 % tarkkuudella. Tarkasteltaessa kohteita, jotka vaativat ensiharvennusta kymmenvuotiskauden aikana onnistuttiin kohteet löytämään 70–79 % varmuudella. Kontrollimittauksista saatujen tulosten perusteella voitiin todeta, että kuvioittaisessa arvioinnissa pohjanpinta-ala yliarvioitiin 2–25 %. Keskiläpimittaa aliarvioitiin 9–14 % ja keskipituudet jakautuivat 5 % ali- ja yliarvioihin.

Tulokset kertovat laserkeilauksen kehityksestä ja tiheäpulsissisen aineiston suhteellisen hyvästä arvioinnista. Tutkimuksessaan Vastaranta ym. mainitsevat,

että tutkimus sijoittui tarkasti määritettyyn paikkaan, joten tulokset eivät ole yleistettävissä. Lisäksi he korostavat maastomittauksessa mittaajasta johtuvien virheiden merkitystä tutkimuksessa, jotka vaikuttavat vääjäämättä lopputuloksiin.

Metsäkeskuksen Metsätiedon laadun mukaan laserkeilaustietojen luotettavuus on sitä heikompaa, mitä pienempää puusto on. Laserkeilausta ei voida Metsäkeskuksen mukaan käyttää lainkaan pienillä taimikoilla, mutta hoitotarpeen määrittämisessä sitä voidaan hyödyntää kohtalaisella tarkkuudella. (Metsäkeskus, 2020b.)

Tässä tutkimuksessa männyn (T1 & T2) runkoluvulle saatiin selityskertoimeksi 75,9 % ja kuuselle (T1 & T2) 78,3 %. Tulokset antavat samanlaisia viitteitä kuin aiemmin esitellyt tutkimukset. Tarkasteltaessa tutkimusten tuloksia on syytä palauttaa mieleen tutkimuksen tavoite. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia laserkeilausaineistojen tarkkuutta suhteessa maastomittaukseen ja miettiä, voidaanko maastokäynnistä luopua taimikonhoitotoimenpiteiden suunnittelussa. Runkolukujen osalta havupuiden tulokset olivat suhteellisen tarkkoja molempien kehitysluokkien välillä.

Männyn kehitysluokan T1 taimikoissa selityskertoimeksi saatiin 56 % ja kehitysluokassa T2 selityskerroin oli 87 %. Kuusella kehitysluokassa T1 selityskerroin oli 98 % ja kehitysluokassa T2 79 %. Kuusen korkeaan selityskertoimeen kehitysluokassa T1 vaikuttaa todennäköisesti se, että kuusi on istutettava puulaji ja mallit on luotu vastaamaan istutustiheyttä. Runkolukujen arvioinnista voidaan sanoa, että laserkeilaus onnistui havupuiden osalta varsin hyvin. Regressioanalyysillä kummankin havupuun runkoluvusta saatiin tilastollisesti erittäin merkitsevät mallit. Havupuiden pituuden tai läpimitan määrittäminen ei onnistunut yhtä hyvin kuin runkolukujen osalta. Myöskään näistä ei saatu luotettavia lineaarisia regressiomalleja.

Haastavuudet tulevat esiin etenkin lehtipuiden osalta. Laserkeilaus menestyi varsin heikosti lehtipuiden havainnoinnissa etenkin taimikon varhaisessa vaiheessa. Erityisesti juuri taimikon varhaisessa vaiheessa lehtipuusto voi tukahduttaa tavoiteltavien puulajien taimikot. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin

maastossa tilanteita, joissa laserkeilausaineisto oli määrittänyt taimikoiden tunnukset viereisistä suurista puista.

8.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tuloksien luotettavuutta voidaan parantaa etenkin henkilösuoritteiden osalta. Mittaukset suoritettiin henkilösuoritteina, joten niihin voi aina sisältyä virheen mahdollisuus. Virheen mahdollisuutta pyrittiin minimoimaan riittävillä mittauksilla. Taimikot ovat harvoin samanlaisia ja niissä esiintyy vaihtelua. Tässä korostuu koealamittausten sijoittelun merkittävyys. Lisäksi tulosten luotettavuutta voitaisiin parantaa suorittamalla vastaavanlaisia maastomittauksia useammilta alueilta. Jatkokehityksenä tutkimukselle voisi olla lehtipuustoon keskittyvä parantelu. Lehtipuuston havainnoinnin osalta tulokset olivatkin varsin heikkoja. Myös pituuden ja läpimitan arviointiin voisi kiinnittää jatkokehityksessä huomiota myös havupuiden osalta.

8.3 Päätelmät

Tutkimus osoittaa laserkeilauksen potentiaalin runkoluvun määrittämiseen havupuille taimikoissa. Laserkeilaustietoja voidaan käyttää hyvänä apuna ennakkosuunnittelussa taimikoiden osalta. Etenkin varttuneita havupuuvaltaisia taimikoita voidaan suunnitella runkoluvun mukaan kaukokartoitusmenetelmien perusteella hyvin. Yleensä varttuneissa taimikoissa lehtipuuston haittavaikutus on taimikonhoitotoimien myötä vähäisempi kuin nuoremmissa taimikoissa. Lisäksi erityisesti kuivilla kankailla, joissa lehtipuuston osuus on luonnostaan vähäinen, voidaan suunnittelua tehdä laserkeilainaineiston pohjalta. Suunnittelussa on kuitenkin syytä muistaa pituuden rooli toimenpiteen ajoituksen määrityksessä ja pituudessa laserkeilauksella on parannettavaa nuorissa taimikoissa.

Tulosten perusteella maastokäyntiä ei kannata jättää tekemättä, kun tarkastellaan nuoria taimikoita tai reheviä kasvupaikkoja. Nuorissa taimikoissa

lehtipuuston tukahduttava vaikutus voi olla merkittävä. Maastotarkastuksiin liittyy usein muutakin kuin pelkkä tarkasteltavan kohteen huomiointi. Maastokäynnillä voidaan havaita esimerkiksi puustotuhot hyvin tehokkaasti. Lisäksi tiestön kuntoon voidaan kiinnittää paikan päällä enemmän huomiota.

Maastotarkastuksia voidaan suorittaa muun maastotyön ohessa kulujen säästämiseksi. Maastotarkastusten aikana vastaan tuli taimikkokuvioita, joiden tiedot olivat täysin vääriä ja tiedot edustivat viereistä uudistuskypsää puustoa. Kyseisiä virhetuloksia ei välttämättä olisi huomattu ilman maastokäyntiä.

Lähteet

- Arbonaut. 2015. Metsätieto 2020 – Tavoitetilä. Arbonautin julkaisuja.
- Autere, J., Maltamo, M., Packalén, P. & Uutera, J. 2007. Laserkeilauksella tehoa ja tarkkuutta metsän inventointiin. *Positio*. 2/2007.
- Auvinen, P. 2000. Metsänmittauksen perusteet. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- Biotalous. 2019. Metsään.fi on metsä- ja ympäristötiedon kotipaikka, josta kaikki hyötyvät. <https://www.biotalous.fi/metsaan-fi-on-metsa-ja-ymparistotiedon-kotipaikka-josta-kaikki-hyotyvat/>. 24.3.2021.
- Greis, K., Haltia, E., Horne, P., Iittainen, V., Laitinen, K., Maidell, M., Pynnönen, S., Raivio, K., Sajeva, M., Stenman, V. & Valonen, M. 2019. Suomen malli metsätietojen hyödyntämisestä. PTT raportteja 263.
- Hallituksen esitys 170/2017 eduskunnalle laiksi Suomen metsäkeskuksen metsätietojärjestelmästä annetun lain muuttamisesta.
- Heikkilä, J. Maltamo, M. Packalén, P. Uutera, J. & Ärölä, E. 2008. Laserkeilaustulkinnan hyödyntäminen metsäsuunnittelun tietolähteenä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008.
- Holopainen, M. Hyyppä, J. & Vastaranta M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5.
- Hyyppä, J. & Inkinen, M. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric Journal of Finland* 16(2).
- Kangas, J., Maltamo, M., Suvanto, A. & Packalén, P. 2005. Kuviokohtaisten puustotunnusten ennustaminen laserkeilauksella. *Metsätieteen aikakauskirja*. 4/2005.
- Kankaanhuhta, V. & Väkevä, J. 2013. Lumi. Luonnonvarakeskus. http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/lajit_kansi/ablumi-n.htm. 5.10.2020.
- Korpela, I., Ørka, H.O., Maltamo, M., Tokala, T. & Hyyppä, J. 2010. The Finnish Society of Forest Science, The Finnish Forest Research Institute. 2010. Tree Species Classification Using Airborne LiDAR – Effect of Stand and Tree Parameter, Downsizing of Training Set, Intensity Normalization, and Sensor Type. *Silva Fennica* 44(2).
- Luonnonvarakeskus. 2015. Valtakunnan metsien inventointi. <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/info.htm>. 10.2020.
- Luoranen, J. Saksa, T. & Uotila, K. 2012. Metsänuudistaminen. Metsäkustannus Oy.
- Maltamo, M. Närhi, M. Packalén, P. & Peltola, H. 2008. Kuusen taimikoiden inventointi ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittäminen laserkeilauksen ja metsäsuunnitelmätietojen avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2008.
- Metsähallitus. 2020a. Metsähallitus Metsätalous Oy – hyvinvointia ja uusiutuvaa raaka-ainetta. <https://www.metsa.fi/metsahallitus/nain-toimimme/vastuualueet/metsatalous-oy/>. 18.3.2021.
- Metsähallitus. 2020b. Metsähallituksen vastuualueet. <https://www.metsa.fi/metsahallitus/nain-toimimme/vastuualueet/>. 18.3.2021.

- Metsäkeskus. 2016a. Metsätiedon keruu.
<https://www.metsakeskus.fi/metsatiedon-keruu#.VNIC5E1EiAg>.
5.10.2020.
- Metsäkeskus. 2016b. Metsätiedon laatu.
<https://www.metsakeskus.fi/metsatiedon-laatu>.18.3.2021
- Metsäkeskus. 2016c. Suomen metsäkeskuksen metsävaratiedon laatuseloste.
Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja.
- Metsänhoitoyhdistys Mänty-Saimaa. 2014. Metsänomistajat. Jäsenlehti 1/2014.
- Paananen, R. 2014. Metsävaratieto ja sen käytön mahdollisuudet. Suomen
Metsäkeskus.
- Taanila, A. 2020a. Lineaariset regressiomallit.
- Taanila, A. 2020b. Mann-Whitney U-testi. Aki Taanila.
<https://tilastoapu.wordpress.com/2012/03/08/mann-whitney-u-testi/>.
18.3.2021.
- Tapio. 2014. Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden
kehittämiskeskus Tapio 2014.
- Tilastokeskus. 2020. Luottamusväli.
<https://www.stat.fi/meta/kas/luottamusvali.html>.10.2020.
- Tilastokeskus. 2021. Varianssi. <https://www.stat.fi/meta/kas/varienssi.html>
- Vastaranta, M., Ojansuu, R. & Holopainen, M. 2010. Puustotunnusten
laskennallisen ajantasaistuksen luotettavuus – tapaustutkimus
Pohjois-Savossa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2010.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. 2019.
Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja.

Testien tulokset

Mänty T1&T2

Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	2458 (95 % 1832–3083)
Maasto	2639 (95 % 2206–3071)
N	78

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,01
Maasto	0,01
Mann-Whitney U	0,67
Retain null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,759
Adjusted R Square	0,753
Anova Sig	0

Keskipituus	metriä (m)
Laser	5,32 (95 % 3,21–7,43)
Maasto	1,83 (95 % 1,51–2,16)
N	75

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0,197
Mann-Whitney U	0,025
Reject null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,028
Adjusted R Square	-0,002
Anova Sig	0,345

Keskiläpimitta	Läpimitta (cm)
Laser	6,93 (95 % 3,95–9,92)
Maasto	1,84 (95 % 1,50–2,19)
N	72

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0
Mann-Whitney U	0,015
Reject null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,055
Adjusted R Square	0,022
Anova Sig	0,204

Testien tulokset**Mänty T1**

Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	2015,2 (95 % 768–3261)
Maasto	2639 (95 % 2206–3071)
N	23

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,2
Maasto	0,119
Mann-Whitney U	0,41
Retain null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,565
Adjusted R Square	0,51
Anova Sig	0,12

Keskipituus	metriä
Laser	5,22 (95 % -0,591–11,03)
Maasto	0,68 (95 % 0,40–0,96)
N	22

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,001
Maasto	0,02
T-testi	0
Retain null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,053
Adjusted R Square	-0,082
Anova Sig	0,55

Keskiläpimitta

Laser	Läpimitta (cm)
Maasto	7,33 (95 % -0,90–15,56)
N	0,76 (95 % 0,50–1,03)
	22

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0
T-testi	0
Reject null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,136
Adjusted R Square	0,013
Anova Sig	0,328

Testien tulokset

Mänty T2		Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser		2621 (95 % 1858–3384)
Maasto		2603 (95 % 2034–3172)
N		55
Kolmogorov - Smirnov		Sig
Laser		0,003
Maasto		0,23
Mann-Whitney U		0,987
		Retain null hypothesis
Regressioanalyysi		
R Square		0,875
Adjusted R Square		0,87
Anova Sig		0
Keskipituus		metriä
Laser		5,15 (95 % 2,90–7,40)
Maasto		2,37 (95 % 2,09–2,65)
N		54
Kolmogorov - Smirnov		Sig
Laser		0
Maasto		0,056
Mann-Whitney U		0,114
		Reject null hypothesis
Regressioanalyysi		
R Square		0,056
Adjusted R Square		0,015
Anova Sig		0,255
Keskiläpimitta		Läpimitta (cm)
Laser		6,79 (95 % 3,56–10,01)
Maasto		2,35 (95 % 2,07–2,64)
N		52
Kolmogorov - Smirnov		Sig
Laser		0
Maasto		0
T-testi		0
		Reject null hypothesis
Regressioanalyysi		
R Square		0,096
Adjusted R Square		0,051
Anova Sig		0,16

Testien tulokset

Kuusi T1&T2	
Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	1199 (95 % 946–1453)
Maasto	1427 (95 % 1172–1681)
N	78

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0
Mann-Whitney U	0,87
	Retain null hypothesis

Regressioanalyysi	
R Square	0,783
Adjusted R Square	0,776
Anova Sig	0

Keskipituus	metriä
Laser	4,43 (95 % 2,85–6,01)
Maasto	1,46 (95 % 1,03–1,89)
N	66

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,001
Maasto	0,009
Mann-Whitney U	0,026
	Reject null hypothesis

Regressioanalyysi	
R Square	0,039
Adjusted R Square	0,002
Anova Sig	0,311

Keskiläpimitta	Läpimitta (cm)
Laser	6,68 (95 % 4,28–9,09)
Maasto	1,68 (95 % 1,16–2,21)
N	57

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,001
Maasto	0,008
Mann-Whitney U	0,013
	Reject null hypothesis

Regressioanalyysi	
R Square	0,293
Adjusted R Square	0,256
Anova Sig	0,011

Testien tulokset

Kuusi T1	
Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	1322 (95 % 968–1675)
Maasto	1325 (95 % 954–1695)
N	27

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0
Mann-Whitney U	0,843
Retain null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,987
Adjusted R Square	0,986
Anova Sig	0

Keskipituus	metriä
Laser	1,90 (95 % -0,78–4,60)
Maasto	0,39 (95 % 0,22–0,56)
N	24

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0,031
Mann-Whitney U	0,15
Retain null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0,29
Adjusted R Square	0,211
Anova Sig	0,088

Keskiläpimitta	Läpimitta (cm)
Laser	3,33 (95 % -1,54–8,21)
Maasto	0,75 (95 % 0,46–1,03)
N	21

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0
Mann-Whitney U	0,837
Retain null hypothesis	

Regressioanalyysi	
R Square	0
Adjusted R Square	0
Anova Sig	0
N	0

Testien tulokset

Kuusi T2	
Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	1136 (95 % 781–1490)
Maasto	1485 (95 % 1125–1845)
N	44

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,001
Maasto	0
Mann-Whitney U	0,61
	Retain null hypothesis

Regressioanalyysi	
R Square	0,799
Adjusted R Square	0,789
Anova Sig	0

Keskipituus	metriä
Laser	5,76 (95 % 3,92–7,59)
Maasto	2,12 (95 % 1,69–2,63)
N	54

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,187
Maasto	0,2
T-testi	0
	Reject null hypothesis

Regressioanalyysi	
R Square	0,013
Adjusted R Square	-0,053
Anova Sig	0,668

Keskiläpimitta	Läpimitta (cm)
Laser	8,20 (95 % 5,46–10,93)
Maasto	2,14 (95 % 1,58–2,70)
N	52

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,173
Maasto	0,06
T-testi	0
	Reject null hypothesis

Regressioanalyysi	
R Square	0,219
Adjusted R Square	0,174
Anova Sig	0,043

Testien tulokset**Lehtipuu T1&T2**

Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	410 (95 % 155–664)
Maasto	1911 (95 % 1411–2410)
N	55

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0,16
Mann-Whitney U	0
Reject null hypothesis	

Keskipituus	metriä
Laser	7,60 (95 % 5,26–9,93)
Maasto	1,52 (95 % 1,22–1,81)
N	57

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,001
Maasto	0,003
Mann-Whitney U	0
Reject null hypothesis	

Keskiläpimitta	Läpimitta (cm)
Laser	8,85 (95 % 5,99–11,70)
Maasto	1,68 (95 % 1,38–1,98)
N	55

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,04
Maasto	0
Mann-Whitney U	0
Reject null hypothesis	

Testien tulokset**Lehtipuu T1**

Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	581 (95 % -571–1679)
Maasto	2833 (95 % 2014–3651)
N	19

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0,2
Mann-Whitney U	0,006
Reject null hypothesis	

Keskipituus

	metriä
Laser	5,5 (95 % -4,6–15,6)
Maasto	1,08 (95 % 0,73–1,43)
N	19

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0
Maasto	0,002
Mann-Whitney U	1
Retain null hypothesis	

Keskiläpimitta

	Läpimitta (cm)
Laser	5,75 (95 % -4,83–16,33)
Maasto	1,21 (95 % 0,81–1,61)
N	19

Kolmogorov - Smirnov	Sig
	0
Laser	0
Maasto	0,959
Mann-Whitney U	Retain null hypothesis

Testien tulokset**Lehtipuu T2**

Runkoluku	Runkoluvun keskiarvo kpl/ha
Laser	364 (95 % 90–639)
Maasto	1252 (95 % 754–1750)
N	36

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,001
Maasto	0,005
Mann-Whitney U	0,002
	Reject null hypothesis

Keskipituus	metriä
Laser	8,125 (95 % 5,62–10,62)
Maasto	1,81 (95 % 1,41–2,22)
N	54

Kolmogorov - Smirnov	Sig
Laser	0,005
Maasto	0,2
Mann-Whitney U	0
	Reject null hypothesis

Keskiläpimitta	Läpimitta (cm)
Laser	9,62 (95 % 6,47–12,77)
Maasto	2,0 (95 % 1,61–2,38)
N	37

Kolmogorov - Smirnov	Sig
	0,004
Laser	0,001
Maasto	0
Mann-Whitney U	Reject null hypothesis