

OPINNÄYTETYÖ
EERO PESONEN 2013

**MÄNNYN LÄPIMITAN TARKASTELU
SYÖTTEEN LASERKEILAUSALUEELLA**



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

METSÄTALouden KOULUTUSOHJELMA



ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

LUONNONVARA-ALA

Metsätalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyö

MÄNNYN LÄPIMITAN TARKASTELU SYÖTTEEN LASERKEILAUSALUEELLA

Eero Pesonen

2013

Toimeksiantaja Metsähallitus, Metsätalous Pohjanmaa

Ohjaaja Pekka Pennanen

Hyväksytty _____ 2013 _____

Työ on ladattavissa osoitteessa www.theseus.fi



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences
LUC

Luonnonvara-ala
Metsätalouden
koulutusohjelma

Opinnäytetyön
tiivistelmä

Tekijä	Eero Pesonen	Vuosi	2013
Toimeksiantaja Työn nimi	Metsähallitus, Metsätalous Pohjanmaa Männyn läpimitan tarkastelu Syötteen laserkeilausalueella		
Sivu- ja liitemäärä	31+6		

Metsäinventoinnin kehityksessä pyritään vähentämään maastotöiden osuutta sen kustannusten vuoksi. Maastomittauksia kuitenkin tarvitaan edelleen, jotta saadaan laseraineiston tulkinnan referenssiaineisto. Myös inventointitulosten laadun tarkistus tapahtuu vertaamalla laseraineistoa maastossa suoritettuihin kontrollimittauksiin.

Tutkimuksessa selvitettiin miten maastossa mitattu männyn läpimitta eroaa laserkeilausaineistosta tulkitusta tiedosta. Tiedon tarkentuminen mahdollistaisi päätehakkuukohteiden haun ja niiden ominaisuuksien arvioinnin automatisoinnin. Tutkimusalueena toimi Taivalkosken ja Pudasjärven kuntiin kuuluva Syötteen alue Pohjois-Pohjanmaalla. Tutkimuksen maastotyöt suoritettiin kesällä 2011. Vertailuaineistona toimi Arbonaut Oy:n vuonna 2010 alueella toteuttama laserkeilaus.

Laserinventoinnin laatua kontrolloidaan vertaamalla sen tuloksia kontrolliaineistoon, jotka ovat kerätty riippumattomin maastomittauksin. Tarvittaessa annetaan keilausten toteuttajalle palautetta ja keilausyhtiö voi tehdä korjauksia laskentamenetelmiinsä.

Opinnäytetyössä saavutettiin haluttu tulos, sillä työn tuloksista nähdään, että laserkeilausaineiston antama läpimitta on todellista pienempi. Keilausten suorittavalle yhtiölle voidaan siis ilmoittaa tarpeellisista korjattavista toimenpiteistä kyseisellä alueella.

Laserkeilaus tulee olemaan tarkka ja kaikille tasapuolinen mittaustapa läpimitan osalta, joten mittausvirheiden ja eri tulkintatapojen vaikutus pienenee huomattavasti. Eri metsäalan toimijoiden välinen yhteistyökin voi parantua ja helpottua yhteisten toimintatapojen ja normien avulla.

Avainsana(t) kaukokartoitus, metsäinventointi, laserkeilaus,
kontrollimittaus

Author	Eero Pesonen	Year	2013
Commissioned by	Metsähallitus, Forestry of Ostrobothnia		
Subject of thesis	The inspection of pine diameter in the airborne laser scanning area of Syöte		
Number of pages	31+6		

Due to high expenses, it is often worthwhile to try to keep field measurements to a minimum when carrying out a forest inventory. However, the accuracy varies according to the test area and used methodology and therefore, an unambiguous and practical quality assessment will be needed as a part of each inventory project. The accuracy of an ALS inventory was evaluated with a field sampling based control inventory.

The aim of this study was to find out how the diameter of pine differs between field measurements and ALS data. The definition of data enables to automate the search of final felling targets and the evaluation of their characteristics. The study area was the area of Syöte, which is a part of Taivalkoski and Pudasjärvi municipalities in northern Ostrobothnia. The field measurements were performed in summer 2011. The comparison material was delivered by ALS company Arbonaut Ltd. who executed the airborne laser scanning in the Syöte area in year 2010.

The quality of laser data is controlled by comparing it to reference data gathered by independent field measurements. On demand the feedback is delivered to the performing ALS company so the corrections can be made to their calculation methods.

The wanted result was achieved in this thesis. The results of control measurements prove that the ALS diameters are smaller than they are in reality. This means that the performing ALS company may be informed to make corrective actions in this particular area.

Airborne laser scanning will be accurate and equal method of diameter measurement for all parties. Consequently the influence of measurement errors and methods of interpretation decreases significantly. Cooperation between different forestry parties may be improved and eased by the common methods and standards.

Key words remote sensing, forest inventory, airborne laser scanning, ALS, field control measurement

SISÄLTÖ

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	1
1 JOHDANTO	2
2 LASERKEILAUKSEN PERIAATE	4
2.1 KAUKOKARTOITUS	4
2.2 LASERKEILAUS	4
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	8
3.1 TUTKIMUSALUE	8
3.2 LASERKEILAUSAINEISTO	8
3.3 MAASTOAINEISTO	9
3.4 AINEISTO JA MENETELMÄT	15
3.5 TULOSTEN LASKENTA	15
4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	18
4.1 ARVIOINNIN LUOTETTAVUUS	18
4.2 KORRELAATIO JA LINEAARISUUS	18
4.3 REGRESSIOANALYYSI JA RESIDUAALI	22
4.4 LUOTTAMUSVÄLI JA LUOTTAMUSTASO	25
5 POHDINTA	27
LÄHTEET	29
LIITTEET	31

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Laserkeilauksen periaate	5
Kuvio 2. Kartta tutkittavien kohteiden sijainnista	8
Kuvio 3. Kartta valituista mikrokuvioista	10
Kuvio 4. Kartta koealojen sijainnista mikrokuvioilla	11
Kuvio 5. Mirage method –menetelmän periaate	12
Kuvio 6. Mitattujen kuvioiden kasvillisuusluokkajakauma	14
Kuvio 7. Mitattujen kuvioiden kehitysluokkajakauma	14
Kuvio 8. Hajontakuvioiden männyn osalta	19
Kuvio 9. Hajontakuvioiden koko puuston osalta	20
Kuvio 10. Männyn läpimittojen poikkeamat aineistossa	24
Kuvio 11. Koko puuston läpimittojen poikkeamat aineistossa	25
Taulukko 1. Koealojen lukumäärä mikrokuvioilla pinta-alan mukaan	11
Taulukko 2. Pearsonin korrelaatiokerroin männyn osalta	21
Taulukko 3. Pearsonin korrelaatiokerroin koko puuston osalta	21
Taulukko 4. Regressioanalyysi ja -kertoimet männyn osalta	22
Taulukko 5. Regressioanalyysi ja -kertoimet koko puuston osalta	23

1 JOHDANTO

Kaukokartoituksessa käytettävien laitteiden ja mittausmenetelmien kehittyminen on tuonut uusia mahdollisuuksia myös tarkkaan metsien inventointiin ja metsäsuunnitteluun. Maastossa suoritettava mittaus on hidasta ja näin myös kallista työtä, joten uudet menetelmät ovat tervetulleita.

Laserkeilauksella maastotöitä voidaan vähentää huomattavasti. Myös operatiivinen suunnittelu on helpottunut tekniikan ja ohjelmien kehityttyä ja siinä ollaan ottamassa käyttöön juuri laserkeilaukseen perustuvaa inventointimenetelmää. Etuna perinteiseen maastossa tehtävään leimikon ennakkomittaukseen verrattuna onkin, että erillisiä maastotöitä ei tarvita ja mahdollisten päätehakkuukohteiden haku sekä niiden ominaisuuksien arviointi voidaan automatisoida.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan puustotulkinnan laatua männyn läpimitan osalta Taivalkosken ja Pudasjärven kuntiin kuuluvalla Syötteen alueella Pohjois-Pohjanmaalla. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää voidaanko otantamittauksen avulla saada vahvistusta käytännön työssä esiin tulleelle havainnolle läpimitan aliarviosta. Samalla vertaillaan eri tavoin mitattujen läpimittatunnusten eroja samalla kohteella. Vertailtavia läpimittatunnuksia ovat pohjapinta-alalla painotettu läpimitta, aritmeettinen läpimitta, mediaanipuun läpimitta ja valtapuiden läpimitta.

Metsähallitus on saanut käyttöönsä Arbonaut Oy:n suorittamaan lasertulkintaan perustuvaa puustotietoa Pudasjärven ja Taivalkosken kuntiin kuuluvalla Syötteen alueelta noin 100 000 hehtaaria. Hakattavien alueiden etsintä, rajaukset ja kertymien arviointi eli hakkuiden suunnittelu näillä alueilla perustuu laserkeilauksella tuotettuun aineistoon. Aineiston avulla maastotyötä pyritään suuntaamaan kokonaisuuksien suunnitteluun pelkän hakkuukohteiden hakemisen ja mittaamisen sijaan. Samalla kallis ja hidas maastotyö vähenee, jolloin kustannustehokkuus paranee.

Suunnittelutyössä saadut alustavat kokemukset antavat aihetta johtopäätökseen, että lasertulkinta antaa Pohjois-Suomessa puuston läpimitasta todellista pienemmän tiedon. Metsähallituksen käytännössä läpimitta on nyt tärkein uudistuskypsyysmäärittämisen tunnus, joten

tulkintatiedon laadun merkitys korostuu. Mikäli laseraineistossa on korjattavaa, annetaan keilauksen toteuttajalle palautetta.

Metsälain 5 a § mukaan uudistushakkuu saadaan tehdä, kun puusto on saavuttanut riittävän järeyden tai iän taikka jos erityiset syyt sitä muuten puoltavat (Metsälaki 1996). Eri mittaustavat kuitenkin vaikuttavat hyvin paljon tuloksiin läpimitan osalta (Liitteet 1 ja 2).

Yleisesti maastomittauksissa käytetään relaskoopia, jolla mitataan pohjapinta-ala. Relaskoopilla saaduista lukupuista keskimmäisen eli mediaanipuun puustotunnukset ovat inventoinnissa mielenkiinnon kohteena, koska se kuvaa koealan puustoa hyvin. Relaskoopin tarkkuus maastossa on kuitenkin kyseenalaista ja tulos riippuu myös mittaajasta ja mittausolosuhteista. Rajapuiden tarkistukseen ei usein ole aikaa ja tiheäpuustoissa kuvioilla voi mitattavia runkoja jäädä toisten taakse.

Kun mahdollisessa harvennuksessa poistettavia runkoja ei oteta huomioon keskipuun valinnassa, on läpimitta usein selkeästi suurempi kuin todellisuudessa. Tällä tavalla suoritetuilla inventoinneilla päätehakkuisiin saataisiin mukaan myös kuvioita, joiden sen hetkinen läpimitta ei antaisi mahdollisuutta.

Laserkeilaus on tarkka ja kaikille tasapuolinen mittaustapa läpimitan osalta, joten mittausvirheiden ja eri tulkintatapojen vaikutus pienenee huomattavasti. Eri metsäalan toimijoiden välinen yhteistyökin voi parantua ja helpottua yhteisten toimintatapojen ja normien avulla.

Sovin kyseisen opinnäytetyön tekemisestä samassa yhteydessä harjoittelujakson suorittamisen kanssa. Työn aihe tuntui mielenkiintoiselta ja haasteelliselta. Aloitin opinnäytetyön tekemisen heinäkuussa 2011 harjoittelujakson yhteydessä. Ohjeistukset maastotöiden suorittamiseen tuli Metsähallitukselta.

2 LASERKEILAUKSEN PERIAATE

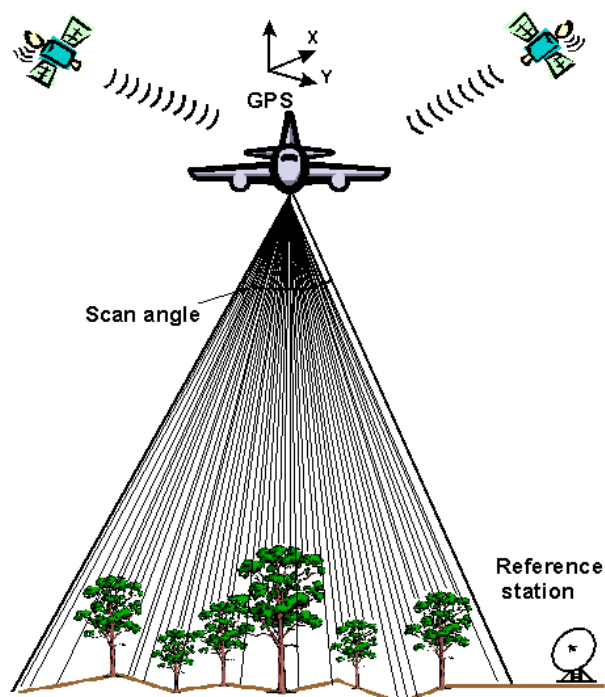
2.1 Kaukokartoitus

Kaukokartoitus on tietojen keräämistä sähkömagneettisen säteilyn avulla ilman fyysistä kontaktia tutkittavaan kohteeseen. Jokaisella kohteella on oma tapansa heijastaa, emittoida eli lähettää ja absorboida eli imeä säteilyä. Kohteen heijastamaa säteilyä käytetään hyväksi kaukokartoituksessa tunnistettaessa kohteita ja tulkittaessa tietoa niiden ominaisuuksista. (Kangas – Päivinen – Holopainen – Maltamo, 2011, 129.)

Kaukokartoitusmenetelmät voidaan jakaa passiiviseen ja aktiiviseen kaukokartoitukseen. Passiivinen kaukokartoitus perustuu kohteen itsensä emittoimaan säteilyyn tai auringon valon heijastumiseen kohteesta. Aktiivisessa kaukokartoituksessa säteilylähde, esimerkiksi tutka tai laserkeilain, valaisee kohteen ja vastaanottaa heijastavan säteilyn muodostaen siitä kuvan. (Kangas – Päivinen – Holopainen – Maltamo, 2011, 129.)

2.2 Laserkeilaus

Laserkeilaus on aktiivista kaukokartoitusta, joka tehdään yleensä lentokoneesta tai helikopterista (ALS, airborne laser scanning). Nykyisin on käytettävissä myös miehittämättömiä lennokkeja, mutta paras alusta tällä hetkellä tasaisilla alueilla suurien pinta-alojen mittaukseen on lentokone ja vuoristoisilla alueilla sekä pienempien ja tarkempien mittausten suorittamiseen helikopteri. (Hyyppä, 2012). Laserkeilauksen periaate on mallinnettu kuviossa 1 (Suomen Metsäyhdistys, 2012). Scan Angle tarkoittaa keilauskulmaa ja reference station tukiasemaa. Laserkeilauksen vahvuus perinteiseen kaukokartoitukseen verrattuna on kyky tuottaa kolmiulotteista tietoa mitattavasta kohteesta (Popescu – Wynne – Nelson, 2002, 72).



Kuvio 1. Laserkeilauksen periaate

Menetelmä perustuu GPS-paikannukseen, inertianavigointiin ja laseretäisyyden mittaukseen. Helikopterissa tai lentokoneessa oleva laserkeilain lähettää laserpulsseja, joiden sironnasta voi johtaa maaston tai puiden latvojen kolmiulotteiset koordinaatit pulssin kulkuajan, lähetys suunnan ja lähettimen sijainnin avulla. GPS-paikannus määrittää koneen sijainnin, inertianavigointi puolestaan määrittää lentokoneen asennon vaihtelun lennon aikana. Näiden järjestelmien tekninen kehitys ja yhteen sovittaminen ovat mahdollistaneet laserkeilauksen käyttöönoton (Naasset – Gobakken – Holmgren – Hyyppä – Hyyppä – Maltamo – Nilsson – Olsson – Persson – Söderman, 2004). Keilauskulma ja lentokorkeus vaikuttavat keilattavan alueen leveyteen ja keilauksen pistetiheyteen. (Kangas – Päivinen – Holopainen – Maltamo, 2011, 138.)

Laserkeilain koostuu keilainosasta, laserpulssit tuottavasta lasertykistä ja ilmaisinosasta. Ilmaisinosasta tulkitsee vastaanotetun signaalin ja määrittää sen perusteella etäisyyden kohteeseen. Laserin asento ja sijainti määritetään inertiajärjestelmän ja GPS-mittauksen avulla. Kun lasertykin lähettämä pulssi osuu kohteeseen ja palaa takaisin ilmaisimelle, voidaan määrittää kohteen ja laserin välinen etäisyys pulssin kulkuajan perusteella. Tunnettaessa tarkasti lasertykin asennon ja paikan, voidaan mitattu etäisyys tykin ja kohteen välillä

muuttaa korkeudeksi. Analysoimalla mittauksista saatua pistepilveä voidaan tuottaa maaston pintamalli (DTM, Digital Terrain Model) ja puiden latvusmalli (CHM, Canopy Height Model) sekä niiden erotus, puuston pituusmalli. (Kangas – Päivinen – Holopainen – Maltamo, 2011, 138.)

Laserkeilausinventointi voidaan jakaa kahteen eri menetelmään riippuen aineiston pulssitiheydestä. Aluepohjaisessa menetelmässä pulssitiheys on 0,5 – 2 pulssia neliömetrillä ja sitä käytetään suurien alueiden tulkinnessa. Aluepohjaisessa menetelmässä esimerkiksi rasteriruudusta irrotetaan kaukokartoituspiirteitä, joiden avulla arvioidaan kiinnostuksen kohteena olevia puustotunnuksia. Yksittäisten puiden mittaukseen perustuvassa menetelmässä pulssitiheys on yli kaksi pulssia neliömetrillä. Yksinpuinmenetelmässä mitataan tai arvioidaan puiden pituutta, latvuksen kokoa ja puulajia, joiden avulla voidaan arvioida muita puutunnuksia, kuten rinnankorkeusläpimittaa ja tilavuutta. Yksinpuintulkinnassa pyritään tunnistamaan yksittäiset puut erityisillä hahmontunnistusohjelmilla. Näin voidaan ennustaa tunnuksat jokaiselle puulle ja lopulta pystytään koostamaan kokonainen metsikkö yksittäisistä puista. Aluepohjainen menetelmä on halvempaa kuin yksinpuinmenetelmä perustuen pulssien ja näin myös aineiston määrään ja käsittelyyn mittauksessa. (Kangas – Päivinen – Holopainen – Maltamo, 2011, 138.)

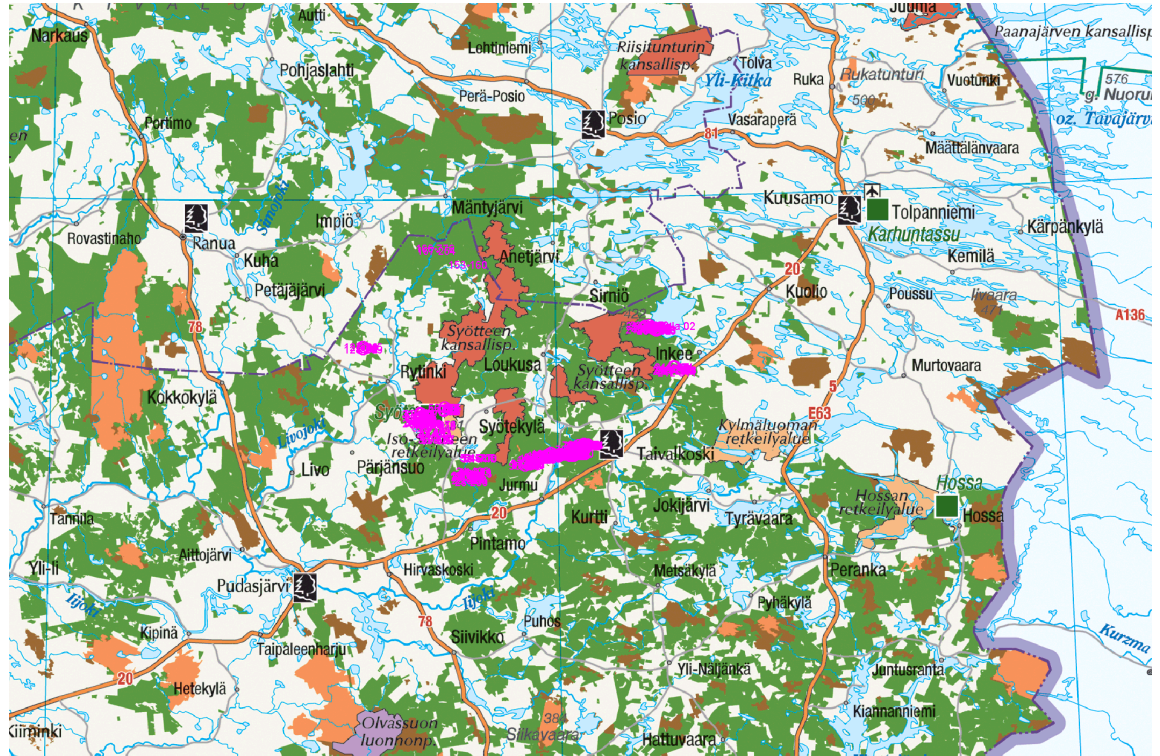
Metsäsuunnittelun osalta ollaankin juuri siirtymässä puustoinventoinnin osalta harvapulssiseen laserkeilaukseen, aluepohjaiseen piirteiden irrottamiseen ja ei-parametriseen estimointiin perustuvaan inventointimenetelmään. Arviointimenetelmän perustana on kunkin otosyksikön liittäminen ALS- ja ilmakuvapiirteiltään lähimpiin maastossa mitattuihin otosyksiköihin eli koealoihin. Näin tulkittavalle laseraineistolle saadaan liitettyä maastomittaustieto. Aluepohjainen laserkeilausmenetelmä vaatii tuekseen laajan, tarkasti mitatun maastoaineiston, joten on tärkeää, että jokaisesta tulkittavan metsäalueen ositteesta on oltava riittävä määrä koealoja. Ilman maastoaineistoa puulajiositteiden tulkintatarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä apuna numeerisia vääräväri-ilmakuvia. (Kangas – Päivinen – Holopainen – Maltamo, 2011, 138 – 139.)

Laserinventoinnin laatua kontrolloidaan vertaamalla sen tuloksia kontrolliaineistoon, joka ovat kerätty riippumattomin maastomittauksin. Tarvittaessa laserkeilauksella tuotettuja puustotunnuksia korjataan tarkistusmittauksen osoittamalla tavalla antamalla palautetta keilauksen suorittaneelle yhtiölle. Kyseessä on siis kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisen kaltainen menettely.

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsee Metsähallituksen mailla Taivalkosken ja Pudasjärven kuntiin kuuluvalla Syötteen alueella Pohjois-Pohjanmaalla. Tutkimusalue on esitetty kuviossa 2 ja se sijaitsee Ranuan, Kuusamon ja Pudasjärven rajaaman kolmion sisällä.



Kuvio 2. Kartta tutkittavien kohteiden sijainnista

Tutkimusalue oli kokonaisuudessaan noin 100 000 hehtaaria laaja, joten sieltä poimittiin satunnaisotannalla noin sata mikrokuviota. Mikrokuvioista suurin osa karsiutui vielä tarkempien valintakriteerien takia. Lopullisessa aineistossa mikrokuvioita oli 43 kappaletta yhteensä noin 47 hehtaarin kokoiselta alueelta.

3.2 Laserkeilausaineisto

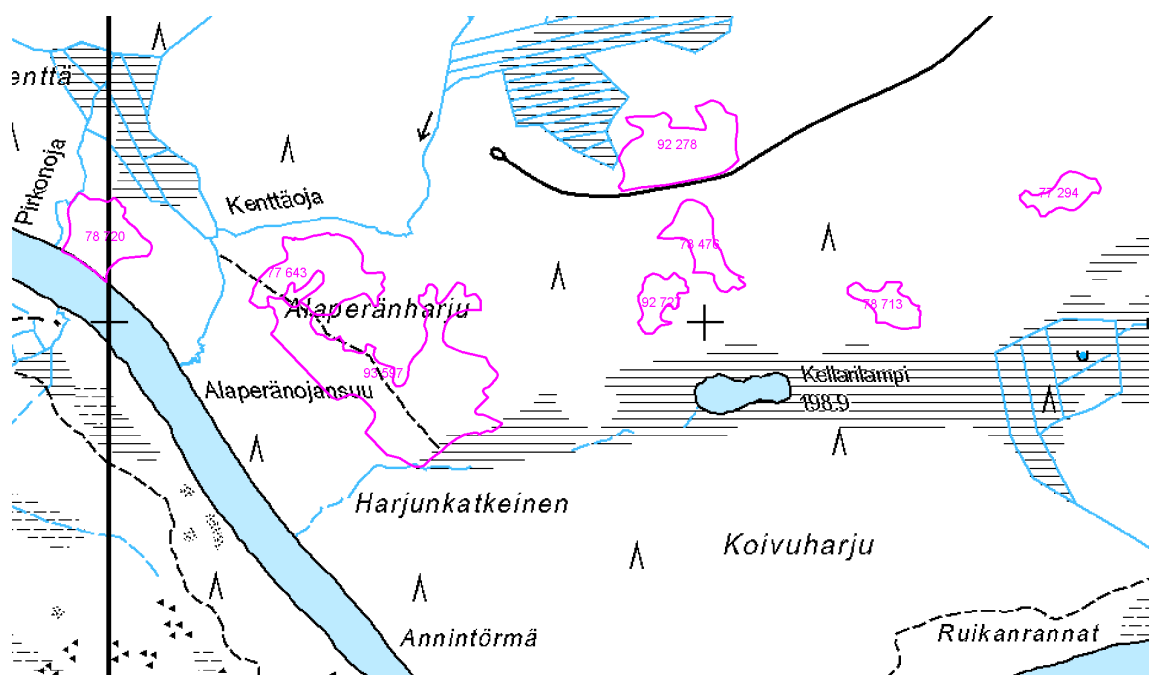
Metsähallitus on saanut käyttöönsä Arbonaut Oy:ltä Syötteen alueen laserkeilausaineiston, jonka on tehnyt ja prosessoinut FM-International Oy FINNMAP vuonna 2010.

Keilaus suoritettiin kahdessa jaksossa 11. – 13.6.2010 ja 5. – 15.8.2010. Kesäkuussa suoritetussa keilauksessa käytettiin Cessna 404 (G-OOSI) lentokonetta. Laitteistona käytettiin Leica ALS60 SN6125-keilainta ja Leica FCMS-navigointijärjestelmää. Elokuussa suoritetussa keilauksessa käytettiin Cessna 301 (PH-LAW) lentokonetta ja laitteistona Leica ALS501I SN058-keilainta. Navigointijärjestelmä oli sama kuin kesäkuussa. Sääolosuhteet ovat olleet keilaukselle sopivat ja pilvet ja aukot aineistossa on paikattu. (Louhisalmi, 2012.)

Pulssitaajuutena on ollut 48,8 kilohertsiä, keilaustaajuutena 28 hertsiä, avauskulmana 30 astetta, lentokorkeutena 2500 metriä maanpinnan yläpuolella sekä lentonopeutena 130 solmua eli noin 67 metriä sekunnissa. Lentonopeus on ollut 5.8.2010 lennetyllä mittauslennolla 120 solmua (noin 62 metriä sekunnissa) ja keilaustaajuus 26.9 hertsiä, mutta tällä ei ole ollut käytännön merkitystä jakaumaan. Pulssitiheys oli 0,5 pulssia neliömetrillä eli aineisto oli harvapulssista, aluepohjaista aineistoa. (Louhisalmi, 2012.)

3.3 Maastoaineisto

Maastomittaukset suoritettiin heinä-elokuussa 2011. Kanssani mittauksia tekemässä oli Helsingin yliopistossa pro gradu–työtään pituusbonitoinnista tekevä Samuli Kokkonieni. Mittauksiin valitut mikrokuviot pohjautuivat hänen otantaansa, jolloin pystyimme yhdistämään maastomittaukset molempien töihin. Mikrokuviot valittiin subjektiivisesti sijaintinsa perusteella, mikä helpotti maastotöitä (Kuvio 3).



Kuvio 3. Kartta valituista mikrokuvioista

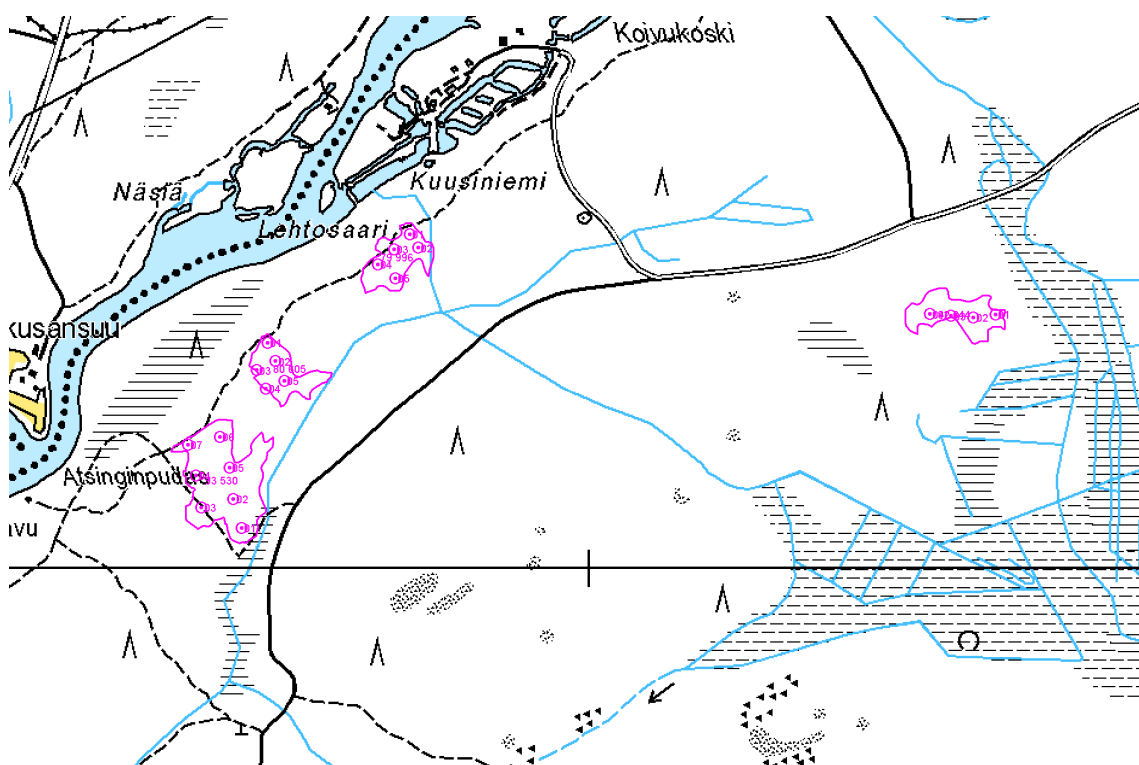
Aineisto kerättiin kaksivaiheisena. Aluksi valittiin joukko mikrokuvioita, jotka edustivat tasaisesti kivennäismaiden kasvupaikkoja 1 – 5. Valituilla mikrokuvioilla tuli olla mahdollisimman tasaisesti edustettuna eri kasvupaikkaluokat, sekä ikä- ja puulajiositteet. Mikrokuvioiden pääpuulajin tuli olla mänty ja metsän iän 30 – 100 vuotta, jolloin tarkasteltavat kehitysluokat vaihtelivat nuorista kasvatusmetsistä uudistuskypsiin metsiin. Lisäksi aineiston valinnan kriteerinä oli vähintään 850 dd:n lämpösumma. Maastomittausten helpottamiseksi valitut mikrokuviot ryvästettiin, jotta mittauspäivän aikana kuljettavat mikrokuviot olisivat lähellä toisiaan ja työt helpottuisivat. Osa mikrokuvioista kuitenkin hylättiin, koska Kokkonien työssä kuvioita ei saanut olla lannoitettu tai ojitettu. Tutkimusaikana mikrokuvioita mitattiin lopulta 44, joista yksi kuvio hylättiin sen ollessa erittäin järeäpuustoinen männyn osalta, jolloin mittaustulokset vääristyisivät.

Toisessa vaiheessa valituille mikrokuvioille sijoitettiin systemaattinen koealaverkko. Koealaverkot mitattiin ja piirrettiin paperille, mistä ne kopioitiin MaastoGis-laitteelle. Koealojen lukumäärä määräytyi siten, että jokaiselle mikrokuviolle tuli 4 – 10 koealaa riippuen kuvion pinta-alasta (Taulukko 1).

Taulukko 1. Koealojen lukumäärä mikrokuviolla pinta-alan mukaan

Koealojen lkm mikrokuviolla	Mikrokuviion pinta-ala (ha)		
	0,50-1,00	1,01-3,25	>3,25
Koealojen lkm	6	7	8
Lkm:n max poikkeama	2	2	2

Ensimmäinen koeala sijoitettiin mikrokuviion pisimmälle halkaisijalle puoli koealaväliä mikrokuviion reunasta. Koealojen välinen matka saatiin mikrokuviion pinta-alan ja koealojen lukumäärän välisestä suhteesta. Mikrokuviion koealaverkon hahmottelu saattoi olla vaikeaa mikrokuviion muodon ja pienen koon takia (Kuvio 4).



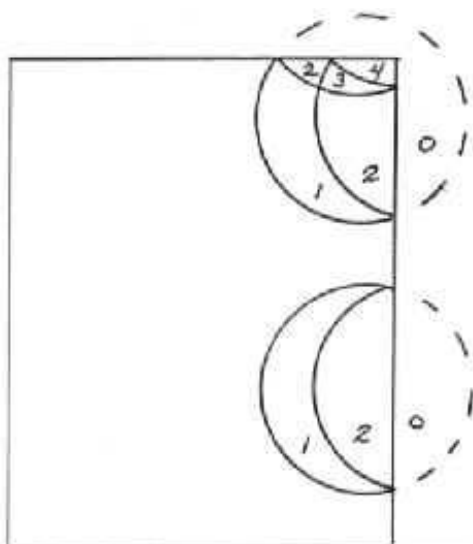
Kuvio 4. Kartta koealojen sijainnista mikrokuvioilla

Suunnistus mikrokuvioille ja koealojen keskipisteisiin tapahtui Intermecc-maastolaitteella. Koealan keskipisteet merkittiin kepeillä, jotka numeroitiin mikrokuviion tunnuksen mukaan. Koealoilta määritettiin tarkka sijainti Trimble GeoXT -tarkkuus GPS:llä ja sijainnin differentiaalikorjaus tapahtui maastossa Nokian E52 GSM-puhelimella. Mahdollisten satelliittikatveiden takia mukana

oli myös toinen Trimble, jolla kerättiin havaintoja keskipisteestä samalla, kun teimme mittauksia. Nämä havainnot korjattiin jälkikäteen Helsingin yliopiston toimesta. Sijainnin tarkkuus vaihteli 0,3 – 1,2 metrin välillä.

Jos koeala osui kuvion rajalle, käytimme Mirage method -menetelmää (Kuvio 5), jossa puuttuva osa peilataan kuvion sisäpuolelta rajaa vasten ja näin saadun alueen puut mitataan toisen tai useamman kerran (Iles, 2000). Mikäli koealan sijainnista kuvion rajalla oli suurempaa epävarmuutta, jätimme koealan mittaamatta. Näin pystyimme tekemään, koska kriteerien mukaan koealojen lukumäärä mikrokuviolla sai poiketa enintään kahdella (Taulukko 1).

Ajourat eivät vaikuttaneet koealojen sijaintiin. Koealana käytettiin ympyräkoealaa, jonka säde oli kahdeksan metriä. Koealalta määritettiin kasvupaikka ja numeroitiin kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan seitsemän senttimetriä ylittävät puut. Numeroiduista puista määritettiin puulaji ja mitattiin rinnankorkeusläpimitta Masserin elektronisilla mittasaksilla ristimittana. Kokkonniemen työtä varten koealalta mitattiin myös kolmen paksuimman männyn pituus Haglöfin Vertex-korkeusmittarilla ja mitattiin niistä ikä kairamalla.



Kuvio 5. Mirage method –menetelmän periaate

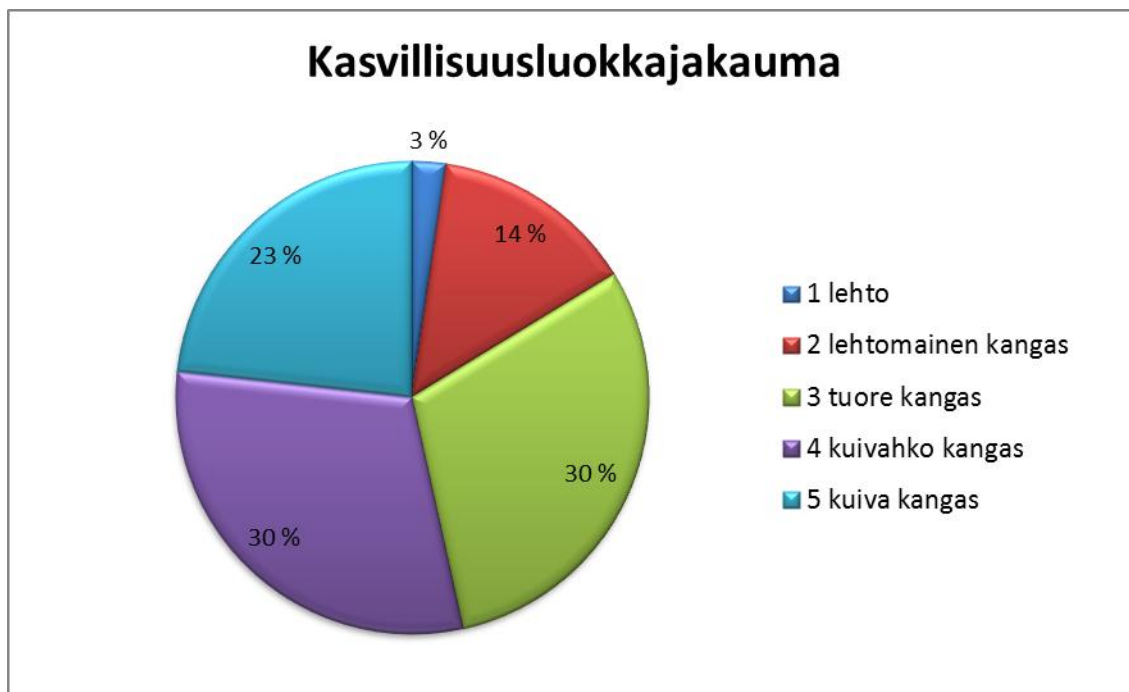
Kuolleita tai kasvunsa lopettaneita vioittuneita (tykyn katkomat ja vastaavat) puita ei mitattu. Mikäli puu oli haaroittunut yli 1,3 metrin korkeudessa, laskettiin runko yhdeksi puuksi. Jos taas puu oli haaroittunut alle 1,3 metrin

korkeudessa, mitattiin molemmat haarat. Jos haaroittuma oli juuri 1,3 metrin korkeudessa, mitattiin runko metrin korkeudelta rungon epämuotoisuuden takia. Rinnankorkeuden lähtöpisteenä oli puun syntypiste.

Mikäli koealalta mitattujen puiden aritmeettinen keskiarvo ylitti 17 senttimetriä, eli puusto oli kehitysluokaltaan varttunutta kasvatusmetsää, otettiin koealalta samasta keskipisteestä myös relaskooppikoeala. Rajapuiden etäisyys tarkistettiin mittanauhalla. Rajapuiden mukaanluku varmistettiin taulukosta. Relaskooppikoealalta merkittiin oletetun harvennuksen jälkeen jäävä puusto. Puustosta määritettiin myös puulaji ja rinnankorkeusläpimitta. Mitatuissa relaskooppikoealoissa tehtiin tarvittaessa kuviteltu harvennus, jotta voitiin saada tuntuma läpimitan muutoksesta toimenpidettä määritettäessä. Tulosten vertailussa relaskooppikoealojen antamia mittaustuloksia ei voida käyttää.

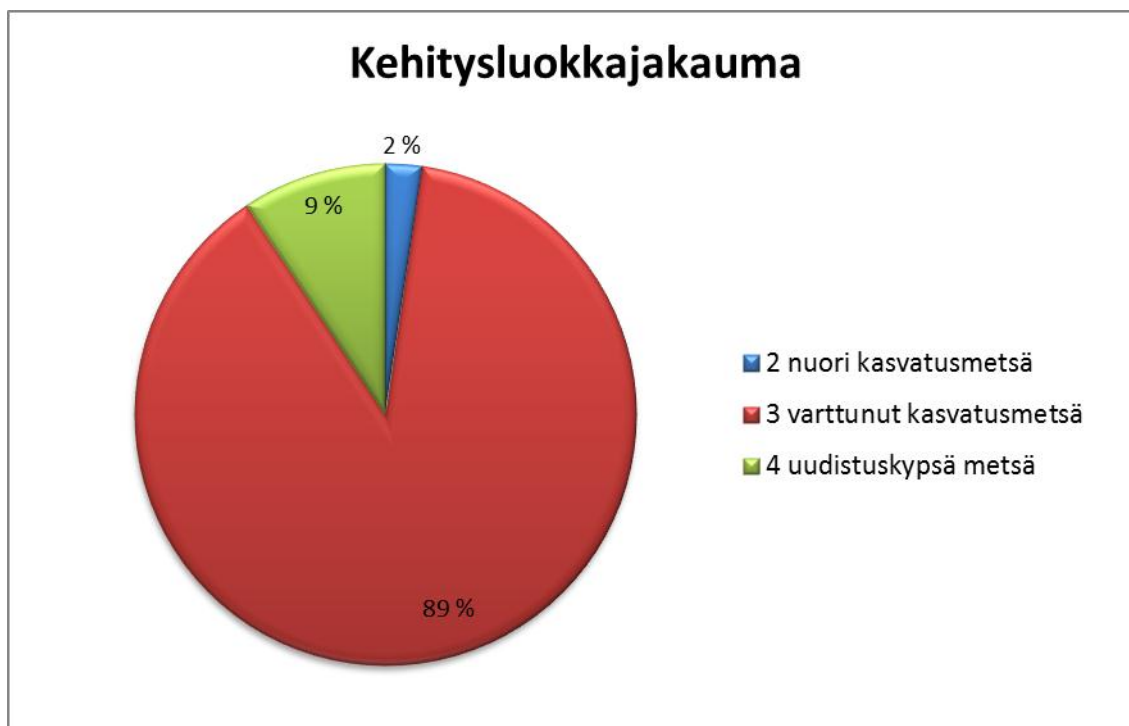
Mittaustulokset merkittiin maastotallentimeen Excel-taulukkoon, mistä ne pystyttiin helposti siirtämään tietokoneelle jatkokäsittelyjä varten. Mittaustulokset purettiin ja varmuuskopioitiin muutaman kerran viikossa tietokoneelle tietojen katoamisen varalta.

Metsähallituksen paikkatietojärjestelmästä saatujen tietojen mukaan mitatuista kuvioista kolme prosenttia oli lehtoa, 14 prosenttia lehtomaista kangasta, 30 prosenttia tuoretta kangasta, 30 prosenttia kuivahkoa kangasta ja 23 prosenttia kuivaa kangasta (Kuvio 6).



Kuvio 6. Mitattujen kuvioiden kasvillisuusluokkajakauma

Mitatuista kuvioista kaksi prosenttia oli nuorta kasvatusmetsää, 89 prosenttia varttunutta kasvatusmetsää ja yhdeksän prosenttia uudistuskypsää metsää (Kuvio 7).



Kuvio 7. Mitattujen kuvioiden kehitysluokkajakauma

3.4 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineistoon vaadittava materiaali saatiin toiselta osalta Metsähallituksen SutiGis paikkatietojärjestelmästä ja toinen osa maastossa suoritetuista tarkistusmittauksista. Puita mitattiin yhteensä 3799 kappaletta ristimitattuna 233 koealalta 43 kuviolta. Mäntyjä puista oli 2213 kappaletta eli yli 58 prosenttia. Taulukointiin käytin Microsoft Excel 2010 -ohjelmaa ja tulosten analysointiin IBM SPSS Statistics 20 -ohjelmaa.

Excel taulukoinnilla työstin maastossa saaduista mittaustuloksista kullekin mikrokuviolle erikseen männyn ja koko puuston osalta pohjapinta-alalla painotetut läpimitat, harhan, hajonnan, keskineliövirheen (MSE), keskineliövirheen neliöjuuren (RMSE), luotettavuuden sekä poikkeamat ja kvartiilit. SPSS -ohjelmalla suoritin Excel-taulukoista saaduista tuloksista hajontakuviot, regressioanalyysin, korrelaatiokertoimen, poikkeama-analyysin sekä luottamusvälit.

3.5 Tulosten laskenta

Tulosten laskentaa varten sekä tarkistusmittausten tulokset, että SutiGis:tä saatu vertailtava laseraineisto syötettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan ja SPSS-tilasto-ohjelmaan. Vertailupareina toimivat tarkistusmittausten pohjapinta-alalla painotetut ja laseraineistosta saadut läpimittojen arvot. Liitteissä 3 ja 4 näkyy muutamien kuvioiden harhat, hajonnat, keskineliövirheet ja luotettavuudet.

Laseraineiston ja tarkistusmittauksissa mitatun puustotiedon kuviokohtaisille pohjapinta-alalla painotetuille läpimitoille laskettiin keskimääräiset erot, joilla esitettiin tarkistusmittausten tietojen poikkeamaa laseraineistossa esitetystä arvosta. Keskimääräiset erot eli harhat (b) laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n a_i (x_{laser} - x_{oma})}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

missä x_{laser} = puustotunnuksen arvo laseraineistossa

x_{oma} = puustotunnuksen mitattu arvo kuviolla

a_i = kuvion pinta-ala

n = kuvioden lukumäärä

Laseraineiston antamien läpimittojen luotettavuuden tutkimiseksi määritettiin poikkeamien hajonta (s) seuraavalla kaavalla:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i [(x_{oma} - x_{laser}) - (\bar{x}_{oma} - \bar{x}_{laser})]^2}{\sum_{i=1}^n a_i}}$$

missä x_{oma} = puustotunnuksen mitattu arvo kuviolla

x_{laser} = puustotunnuksen arvo laseraineistossa

\bar{x}_{oma} = kuvioden mitattujen puustotunnusten keskiarvo

\bar{x}_{laser} = laseraineiston mitattujen puustotunnusten keskiarvo

a_i = kuvion pinta-ala

n = kuvioden lukumäärä

Hajonnan ja harhan neliöiden summasta saadaan laseraineiston läpimitan keskineliövirhe (MSE) seuraavalla kaavalla:

$$MSE = b^2 + s^2$$

missä MSE = keskineliövirhe

b = harha

s = hajonta

Kuviotunnusten luotettavuus (R) laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$R = (100 - r) \%$$

Kaavassa oleva r on keskineliövirheen neliöjuuren (RMSE) suhteellinen osuus kuviotunnuksen mitatusta keskiarvosta ja sen laskemiseen on käytetty seuraavaa kaavaa:

$$r = \frac{\sqrt{\text{MSE}}}{\bar{x}_{oma}} * 100 \%$$

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

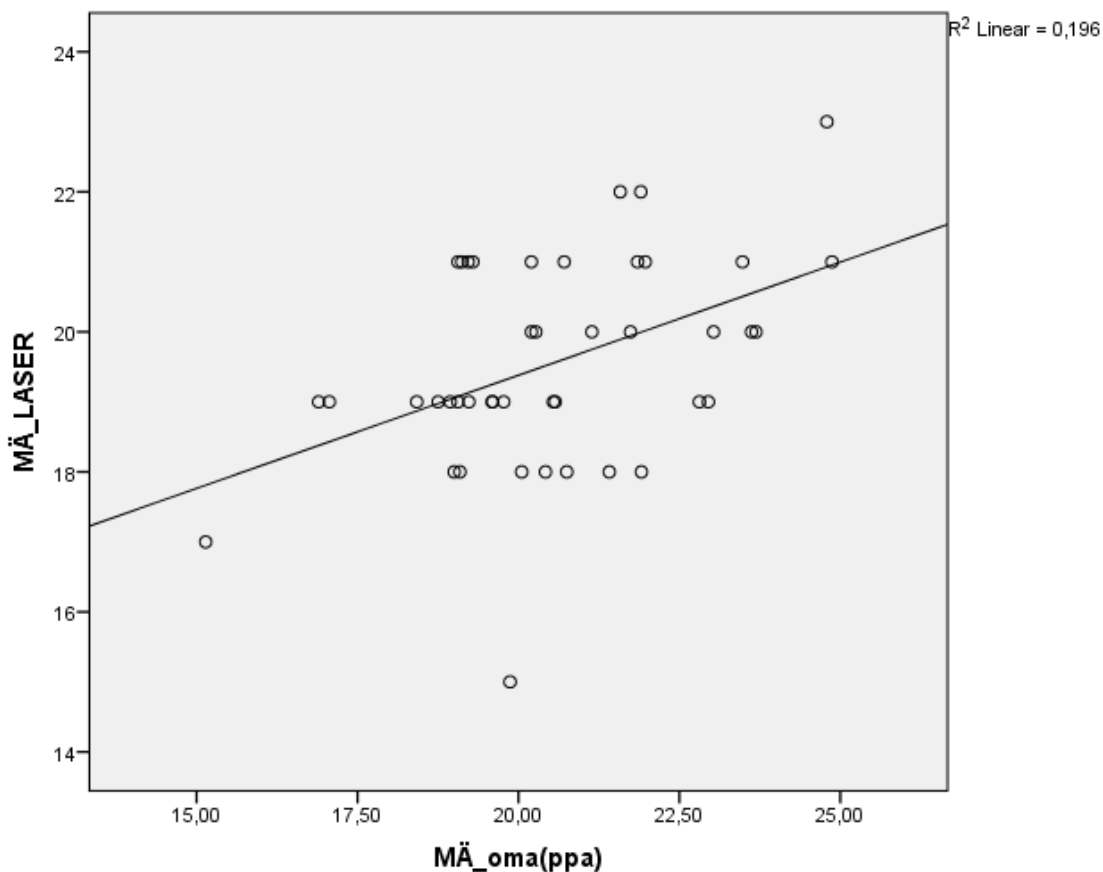
4.1 Arvioinnin luotettavuus

Puustotunnuksen arviointivirheeseen sisältyy koealojen sijoittelusta aiheutuvaa otantavirhettä sekä satunnaista ja systemaattista mittaus- ja arviointivirhettä. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuuden tutkimisessa ongelman muodostaa tarkan vertailuaineiston hankinta. Kuvioittaisen arvioinnin tarkistusmenetelmät perustuvat usein jonkin otannalla valitun, objektiivisesti mitatun koeala-aineiston käyttöön vertailuaineistona. Ellei vertailuaineiston virhettä oteta huomioon, on havaittu kuvioittaisen arvioinnin virhe kuitenkin yliarvio todellisesta virheestä. (Metsätieteen aikakauskirja 3/2002, 426.)

4.2 Korrelaatio ja lineaarisuus

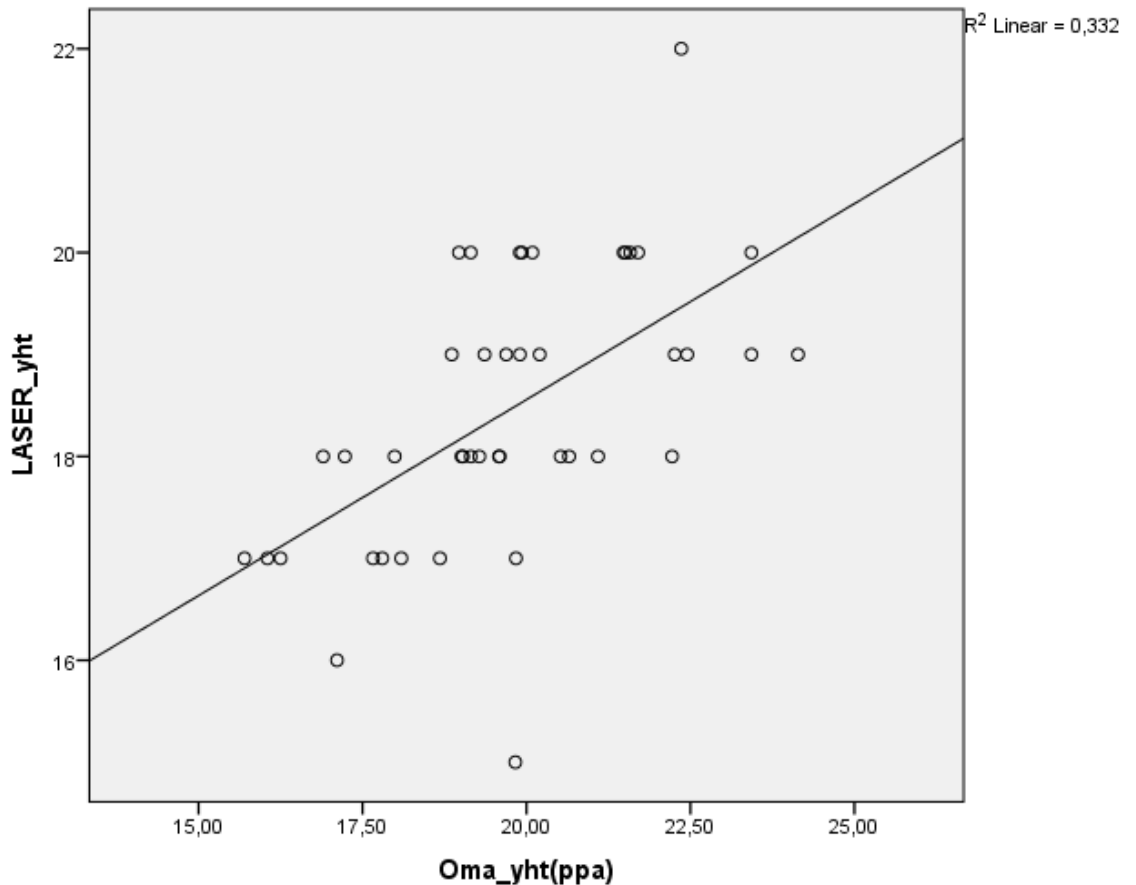
Jos nähdään, että kahden muuttujan välillä voi olla yhteyttä, niistä piirretään hajontakuviota eli korrelaatiodiagrammi. Hajontakuviosta nähdään jo nopealla silmäyksellä muuttujien välinen yhteys. (Holopainen – Tenhunen – Vuorinen 2004, 169.) Vertailun vuoksi esitän myös mittausaineistosta koko puuston osalta saadut tulokset, jolloin tulosten epätarkkuus männyn osalta erottuisi selvemmin.

Hajontakuviosta männyn osalta nähdään (Kuvio 8), että pistejoukko ei osu kovin tarkasti suoralle ja lineaarinen selitysaste R^2 on vain 0,196. Tämä tarkoittaa, että vain noin 20 prosenttia laserin antamista tuloksista täsmäisi maastossa mitattujen kanssa. Pelkkä hajontakuviota ei kuitenkaan kerro tarkkaa tulosta, vaan silmämääräisesti muuttujien välisen yhteyden. Lisäksi epätarkkuutta aiheuttaa se, että laserin antamat tulokset ovat senttimetrin tarkkuudella, kun taas tarkistusmittauksen tulokset ovat millimetrin tarkkuudella. Tarkistusmittausten tulosten pyöristäminen vääristäisi tuloksia ja laseraineistoa ei ole saatavilla yhtä tarkkana. Siksi pitää myös tarkastella muita analyysejä ja kertoimia. Kuviossa 8 selittävänä muuttujana on mitattu arvo ja selitettävänä muuttujana laseraineistosta saatu arvo. MÄ_oma(ppa) tarkoittaa maastossa mitattua männyn pohjapinta-alalla painotettua läpimittaa mikrokuviolla ja MÄ_LASER laseraineiston antamaa männyn pohjapinta-alalla painotettua läpimittaa mikrokuviolla.



Kuvio 8. Hajontakuviio männyn osalta

Hajontakuviiossa koko puuston osalta (Kuvio 9) pistejoukon osumatarkkuus suoralle on jo parempaa. Selitysaste R^2 on noin 0,33, joten laseraineiston antamat tulokset vastaavat hieman paremmin mitattuja tuloksia koko puuston osalta, kuin pelkän männyn osalta. Kuviossa 9 vastaavasti samalla tavalla kuin kuviossa 8 selittävänä muuttujana on mitattu arvo ja selitettävänä muuttujana laseraineistosta saatu arvo. Oma_yht(ppa) tarkoittaa maastossa mitattua koko puuston pohjapinta-alalla painotettua läpimittaa mikrokuviolla ja LASER_yht laseraineiston antamaa koko puuston pohjapinta-alalla painotettua läpimittaa mikrokuviolla.



Kuvio 9. Hajontakuvioko puuston osalta

Pearsonin korrelaatiokerroin mittaa lineaarista riippuvuutta. Korrelaatiokertoimen arvo $r=+1$ saadaan silloin, kun kaikki havaintoarvot sijoittuvat samalle nousevalle suoralle. Vastaavasti kertoimen arvo $r=-1$ saadaan silloin, kun kaikki havaintoarvot sijoittuvat samalle laskevalle suoralle. Korrelaatiokertoimen arvo 0 merkitsee, ettei muuttujien välillä ole lineaarista yhteyttä. (Holopainen – Tenhunen – Vuorinen 2004, 173.) Korrelaatiokertoimen neliö, selitysaste r^2 , kertoo kuinka paljon toisella muuttujalla voidaan selittää toista muuttujaa (Metsämuuronen 2002, 20).

Taulukoista 2 ja 3 nähdään, että Pearsonin korrelaatiokertoimen mukaan laseraineiston ja mitatun aineiston välistä lineaarista yhteyttä on selkeästi olemassa. Taulukoissa Sig. (2-tailed) tarkoittaa erehtymisriskin suuruutta. Sen ollessa näin pieni, voidaan todeta, että pelkkä sattuma ei ole aiheuttanut tämän suuruista positiivista korrelaatiota (Holopainen – Tenhunen – Vuorinen 2004, 175).

Taulukko 2. Pearsonin korrelaatiokerroin männyn osalta

Korrelaatiot

		MÄ_oma(ppa)	MÄ_LASER
MÄ_oma(ppa)	Pearsonin korrelaatio	1	,442**
	Sig. (2-tailed)		,003
	N	43	43
MÄ_LASER	Pearsonin korrelaatio	,442**	1
	Sig. (2-tailed)	,003	
	N	43	43

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Männyn osalta korrelaatiokerroin on 0,442 ja koko puuston osalta 0,576. Korrelaatiokertoimien neliöistä männyn ja koko puuston osalta saadaan selitysasteiksi likimain samat hajontakuvioissa esille tulleet arvot $R^2=0,196$ ja $R^2=0,332$ (Kuviot 8 ja 9).

Taulukko 3. Pearsonin korrelaatiokerroin koko puuston osalta

Korrelaatiot

		Oma_yht(ppa)	LASER_yht
Oma_yht(ppa)	Pearsonin korrelaatio	1	,576**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	43	43
LASER_yht	Pearsonin korrelaatio	,576**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	43	43

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4.3 Regressioanalyysi ja residuaali

Regressioanalyysin päämääränä on löytää muuttujien välillä mahdollisesti vallitseva yhteys ja kuvata sitä matemaattisen mallin avulla (Holopainen – Pulkkinen 2008, 261). Matemaattista mallia tarvitaan, kun pistejoukkoa halutaan kuvata yleisellä tasolla. Sitä tarvitaan myös ennusteiden laatimiseen (Holopainen – Tenhunen – Vuorinen 2004, 178). Regressioanalyysilla saatetaan myös tutkia jo aiemmin tärkeiksi tiedettyjen muuttujien osuutta selittävinä tekijöinä (Metsämuuronen 2002, 21). Näin toimitaan esimerkiksi tässä kyseisessä tutkimuksessa, jotta saataisiin tarkemmin tietoon männyn paikkansapitävyys laseraineistossa.

Yksinkertainen matemaattinen malli on suora viiva. Suoran yhtälö esitetään tunnetusti muodossa

$$y = b_0 + b_1x$$

missä vakioita b_0 ja b_1 sanotaan tässä yhteydessä suoran regressiokertoimiksi. Vakio b_0 ilmoittaa pisteen, jossa suora leikkaa y-akselin. Vakio b_1 on suoran kulmakerroin (Holopainen – Tenhunen – Vuorinen 2004, 178).

Taulukko 4. Regressioanalyysi ja -kertoimet männyn osalta

Kertoimet

Model	Normittamattomat kertoimet		Normitetut kertoimet	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	16,304	1,292		12,622	,000
MÄ_oma_ppa	,157	,061	,370	2,580	,013

a. Dependent Variable: MÄ_LASER

Taulukosta 4 nähdään regressiokertoimien arvot männyn osalta ja niiden perusteella suoran yhtälö saa muodon:

Männyn laseraineiston tulos mikrokuviolla = 16,304 + 0,157 * männyn maastossa mitattu tulos mikrokuviolla.

Taulukko 5. Regressioanalyysi ja -kertoimet koko puuston osalta

Kertoimet

Model	Normittamattomat kertoimet		Normitetut kertoimet	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	11,261	1,622		6,944	,000
Oma_yht_ppa	,364	,081	,568	4,474	,000

a. Dependent Variable: Laser_yht

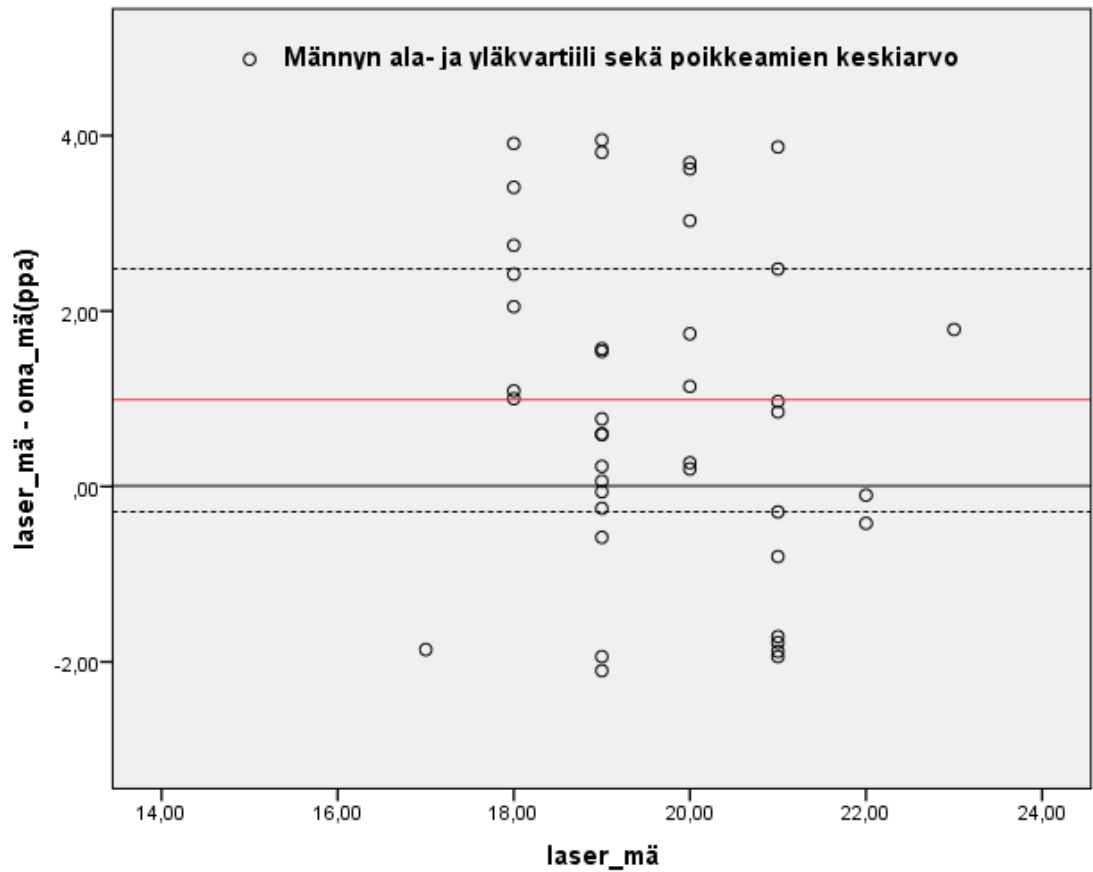
Taulukosta 5 nähdään regressiokertoimien arvot koko puuston osalta ja niiden perusteella yhtälö saa muodon:

Koko laseraineiston tulos mikrokuviolla = $11,261 + 0,364 \cdot$ koko puuston maastossa mitattu tulos mikrokuviolla.

Metsähallituksen Taivalkosken alueen hakkuiden suunnittelutyössä saadut alustavat kokemukset antavat aihetta johtopäätökseen, että lasertulkinta antaa puuston läpimitasta todellista pienemmän tiedon (Louhisalmi, 2011). Keskiläpimitan arvioimisen tarkkuutta voidaan tutkia mitattujen ja arvioitujen keskiläpimittojen välisinä eroina.

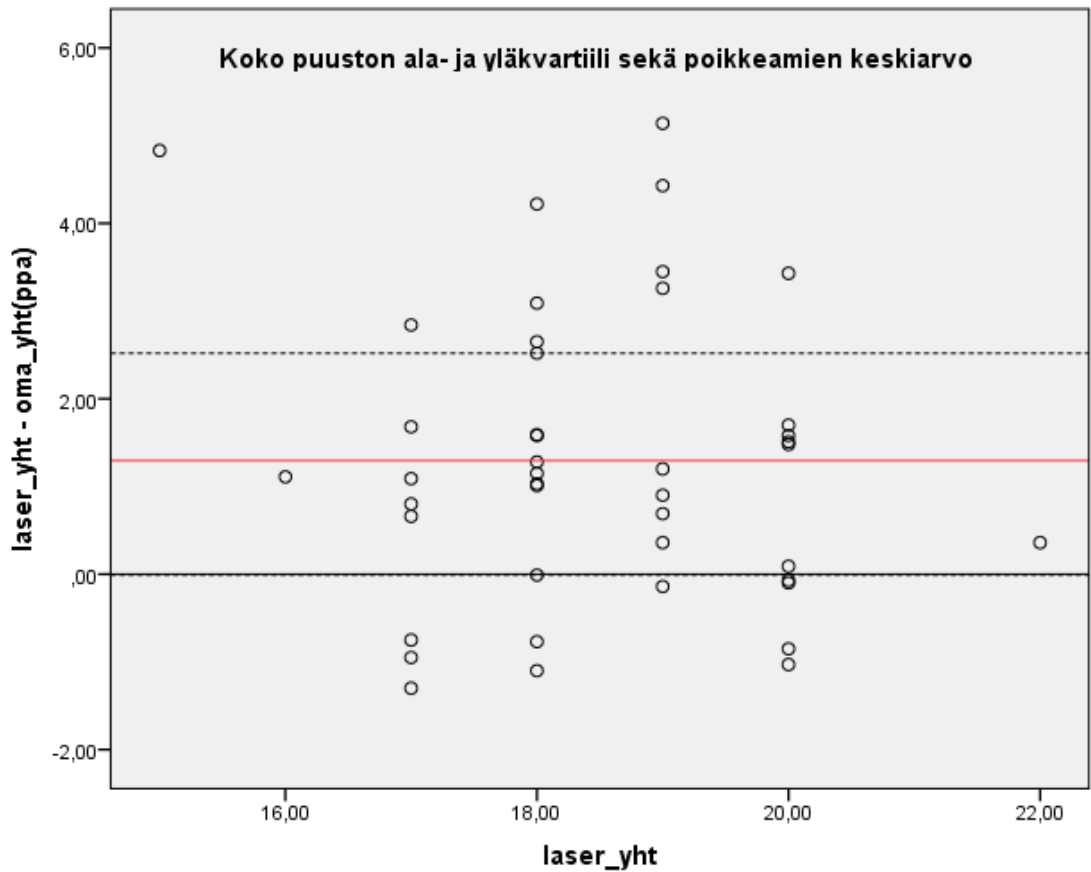
Kuvioissa 10 ja 11 selittävänä tekijänä toimii laserilla arvioitu keskiläpimita ja selitettävänä tekijänä mitatun ja arvioidun keskiläpimitan erotus eli näiden lukujen residuaali. Tämä erotus on tietyn suuruisen läpimita-arvion korjaus kyseisellä havainnolla. Kuvioissa näkyy myös ala- ja yläkvartiilit, joiden väliin jää puolet havainnoista.

Kuvioiden pystyakselilta nähdään, kuinka paljon kutakin vaaka-akselin (laseraineiston) arvoa täytyy korjata, jotta mikrokvartien keskiläpimita (maastoarvo) saataisiin. Metsähallituksen olettaus männyn todellisesta läpimitasta pitää siis kuvion 10 mukaan paikkansa – läpimita on maastotarkistuksen mukaan koko aineistossa keskimäärin senttimetrin suurempi laseraineistoon verrattuna.



Kuvio 10. Männyn läpimittojen poikkeamat aineistossa

Kuviossa 10 alakvartiili on -0,29 senttimetriä, yläkvartiili 2,48 senttimetriä ja aineiston keskiarvo 0,99 senttimetrin suuruinen aliarvio. Keskimääräinen arvointivirhe laseraineistossa on siis noin yhden senttimetrin suuruinen aliarvio. Kuviossa 11 alakvartiili on -0,01 senttimetriä, yläkvartiili 2,52 senttimetriä ja keskiarvo 1,29 senttimetrin suuruinen aliarvio.



Kuvio 11. Koko puuston läpimittojen poikkeamat aineistossa

4.4 Luottamusväli ja luottamustaso

Tilastollisen päättelyn avulla voidaan arvioida kuinka hyvin otoksesta saadut tulokset pitävät paikkansa perusjoukossa. Kyse on siis siitä, kuinka todennäköisesti otoksen avulla saadut tulokset voidaan yleistää koko perusjoukkoa koskeviksi tuloksiksi. Tilastollisen päättelyn kaksi keskeistä käsitettä ovat luottamusväli ja luottamustaso.

Luottamusväli (*confidence interval*) kertoo millä välillä todellinen perusjoukon tunnusluvun arvo on tietyllä todennäköisyydellä. Luottamustaso (*confidence level*) kertoo, millä todennäköisyydellä perusjoukkoa kuvaava tunnusluku on jollain tietyllä luottamusvälillä. Luottamustaso ja luottamusväli ovat täysin toisiinsa sitoutuneita käsitteitä. Tieto luottamusvälistä ei ole mielekäs, jos ei ole tietoa luottamustasosta ja päinvastoin. Olennaista on, että luottamustason kasvaessa laajenee myös luottamusväli. Toisin sanoen tämä tarkoittaa siis sitä, että mitä suuremmalla varmuudella haluamme tietää, millä välillä jokin perusjoukon tunnusluku sijaitsee, sitä suurempi on luottamusväli.

(Tampereen yliopiston ylläpitämä menetelmäopetuksen tietovaranto KvantiMOTV, 2004)

Tässä tutkimuksessa on käytetty 95 prosentin luottamustasoa. Luottamusvälien laskennassa on käytetty tarkistusmittausten koealaineistoa. Hajonnan avulla läpimitoille saadaan kuviokohtaiset 95 prosentin luottamusvälit seuraavalla kaavalla (Liite 5):

$$\bar{x} \pm 1,96\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)$$

missä \bar{x} = läpimitan keskiarvo mikrokuviolla

s = hajonta

n = otoskoko eli puiden lukumäärä mikrokuviolla

Männyn osalta luottamusvälin sisällä olevia mikrokuvioita 43 mikrokuviosta oli 17 eli 39,5 prosenttia kaikista kuvioista. Alle luottamusvälin oli 18 mikrokuviota eli 41,9 prosenttia ja yli luottamusvälin 8 mikrokuviota eli 18,6 prosenttia.

Koko puuston osalta vastaavat luvut olivat toteutuneita 17 eli 39,5 prosenttia mikrokuvioista, alle luottamusvälin 22 eli 51,2 prosenttia ja yli luottamusvälin neljä eli 9,3 prosenttia mikrokuvioista. Lasertulkinnan antamat läpimittatunnukset ovat suurimmaksi osaksi alle luottamusvälin, eli alkuperäinen tuntuma aliarviosta pitää paikkansa.

5 POHDINTA

Työn tarkoitus oli selvittää erityisesti männyn läpimitan paikkansapitävyyttä Syötteen alueella. Kontrollimittauksen tulosten laskennassa ei ole otettu huomioon otanta- ja mittausvirhettä, mutta liitteiden 3 ja 4 mukaan luotettavuustasot (R %) olivat silti erittäin hyvät.

Suomen metsät ovat erilaisia johtuen ilmastollisista olosuhteista. Tämän takia Pohjois-Pohjanmaalla metsien kasvu on verrattavissa paljon ylempänä Lapissa kasvaviin metsiin. Siksi ei voida yleistää aiemmin Etelä-Suomessa suoritettuja mittaustuloksia ja niistä johdettuja laskentakaavoja Koillismaan metsiin ja männiköihin.

Tuloksia vertaillessa täytyy erityisesti muistaa, että Metsähallituksen paikkatietojärjestelmä ilmoittaa laserkeilausaineiston läpimitat senttimetrin tarkkuudella, jolloin suoraviivaista vertailua ei voi tehdä. Tarkempi vertailu ja yhtälöiden muodostaminen ei ole mahdollista, mutta saamani tulokset ovat selvästi suuntaa antavia jatkotutkimuksia varten.

Tutkimuksen tuloksista nähdään, että männyn ja myös koko puuston läpimitan laskentakaavoja täytyy korjata. Tulkintamenetelmää voisi kehittää niin, että puun runkomuodon ja läpimitan ennustaminen olisi luotettavampaa. Laserkeilauksella tuotettu metsävaratieto saadaan menetelmällä, jossa keskeisessä roolissa ovat koeala-aineisto ja laskentamenetelmä. Olisiko tarpeen mitata pohjoisilla alueilla uusia tunnuksia koealoilta, jotta puiden koon ja runkoluvun vaihtelu saataisiin paremmin esiin? Tarkat tulokset mahdollistaisivat laserkeilausaineiston täyden hyväksikäytön päätehakkuukohteiden etsimisen ja puustomäärien laskemisen automatisoinnissa.

Työ on ollut erittäin haastava, koska asia on ollut minulle uutta. Koulussa laserkeilausta on käsitelty vain pintapuolisesti kaukokartoituksen kurssilla, joten kaikki työ aineiston käsittelystä tuloksien purkamiseen on pitänyt opetella itse. Laserkeilaus on tulevaisuudessa erittäin suuressa roolissa metsien inventoinnissa, joten laserkeilauksesta voisi koulussa olla oma kurssinsa.

Toimeksiantajalle eli Metsähallitukselle työ on todistanut alkuperäisen oletuksen läpimitan aliarviosta. Työn perustella Metsähallitus voi antaa palautetta laserkeilauksen toteuttaneelle Arbonaut Oy:lle, joka voi tehdä tarvittavia korjauksia alueen keilausparametreihin.

Opinnäytetyötä tehdessäni olen oppinut etsimään tietoa entistä paremmin ja laajemmin, käsittelemään suuria määriä tietoa Excel-taulukko-ohjelmalla sekä SPSS-analysoinnin perusteita. Työ onnistui hyvin, mutta aikataulut eivät pysyneet suunnitelluissa rajoissa. Mikäli saisin tehdä opinnäytetyöni uudelleen, en kävisi samaan aikaan töissä.

LÄHTEET

- Holopainen, M. – Pulkkinen, P. 2008. Tilastolliset menetelmät, 5. uudistettu painos. Porvoo Helsinki, WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Holopainen, M. – Tenhunen L. – Vuorinen, P. 2004. Tutkimusaineiston analysointi ja SPSS. Järvenpää, Yrityssanoma Oy.
- Hyyppä, J. Remote Sensing for Companies. Osoitteessa http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswww/lasercase1.html. 14.3.2012.
- Iles, K. 2000. Edge Effect in Forest Sampling. Osoitteessa <http://www.proaxis.com/~johnbell/regular/regular52a.htm>. 4.10.2012.
- Kangas, A. – Heikkinen, E. – Maltamo, M. 2002. Puustotunnusten maastoarvioinnin luotettavuus ja ajanmenekki. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002 osoitteessa <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff02/ff023425.pdf>. 28.2.2012.
- Kangas, A. – Päivinen, R. – Holopainen, M. – Maltamo, M. 2011. Metsän mittaaminen ja kartoitus. *Silva Carelica* 40, 3. uudistettu painos. Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto. Joensuun Yliopistopaino.
- Louhisalmi, K. 2011. Metsähallituksen kehittämisasiantuntijan sähköpostiviesti 1.6.2011.
- Louhisalmi, K. 2012. Metsähallituksen kehittämisasiantuntijan sähköpostiviesti 22.3.2012.
- Metsälaki 1996. Osoitteessa [http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093?search\[type\]=pika&search\[pika\]=mets%C3%A4laki](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093?search[type]=pika&search[pika]=mets%C3%A4laki), 12.12.1996, 5 a § 10.9.2010.
- Metsämuuronen, J. 2002. Monimuuttujamenetelmien perusteet SPSS-ympäristössä.
- Naesset, E. – Gobakken, T. – Holmgren, J. – Hyyppä, H. – Hyyppä, J. – Maltamo, M. – Nilsson, M. – Olsson, H. – Persson, Å. – Söderman, U. 2004. Laser Scanning of Forest Resources: The Nordic Experience. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19.
- Popescu, S. – Wynne, R. – Nelson, R. 2002. Measuring individual tree crown diameter with lidar and accessing its influence on estimating forest volume and biomass. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29.
- Suomen Metsäyhdistyksen internetissä julkaissut Metsäkeskus Tapion piirros osoitteessa

<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/allbyid/A6CC6FECB09A006EC22572B300227B7F?OpenDocument>. 4.3.2012.

Tampereen yliopiston ylläpitämä menetelmäopetuksen tietovaranto
KvantiMOTV, 2004.
<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/paattely/paattely.html>.
4.7.2004.

LIITTEET

Läpimittatunnusten vertailu männyn osalta	Liite 1
Läpimittatunnusten vertailu koko puuston osalta	Liite 2
Männyn läpimitan harha, hajonta, keskineliövirhe ja sen neliöjuuri sekä luotettavuus	Liite 3
Koko puuston läpimitan harha, hajonta, keskineliövirhe ja sen neliöjuuri sekä luotettavuus	Liite 4
Ote luottamusvälien laskennasta eräällä mikrokuviolla	Liite 5

		MÄNTY		
Kuvio	Aritm. Lpm	Mediaani	Ppa:lla painotettu lpm	Laser
42	16,88	17,05	19,12	21
45	17,86	18,88	20,54	19
46	14,46	13,40	16,90	19
50	16,99	16,25	20,42	18
55	19,95	20,10	21,74	20
56	21,57	21,70	22,81	19
65	19,96	20,30	21,41	18
80	20,13	20,40	21,97	21
51	16,80	16,55	19,06	19
52	17,80	18,45	20,20	20
69	19,57	19,68	21,58	22
70	19,72	19,45	21,85	21
71	21,55	21,45	23,69	20
40	17,53	18,15	20,27	20
59	17,75	17,95	19,77	19
61	18,50	17,95	21,90	22
63	14,81	14,63	17,06	19
67	17,90	19,10	20,20	21
68	21,24	21,35	23,03	20
7	17,14	17,00	19,87	15
36	16,35	16,35	18,42	19
37	19,61	20,05	21,14	20
72	15,67	14,95	19,09	18
73	13,01	12,80	15,14	17
14	19,48	19,55	20,75	18
19	20,66	20,68	21,91	18
89	18,32	15,58	23,62	20
77	17,75	18,60	20,71	21

Koko puuston läpimittatunnusten vertailu eräillä mikrokuvioilla Liite 2

		KOKO PUUSTO				
Kuvio	Aritm. Lpm	Mediaani	Valtapuulaji	Valtapuiden lpm	Ppa:lla painotettu lpm	Laser
42	17,01	17,05	mä	26,68	19,36	19
45	17,67	18,85	mä	26,60	19,28	18
46	14,46	13,40	mä	24,08	16,90	18
50	14,91	13,90	mä	27,13	19,03	18
55	19,37	19,80	mä	27,52	21,70	20
56	17,35	17,08	mä	28,07	21,09	18
65	12,41	11,30	lp	16,18	16,25	17
80	16,64	16,10	mä	27,58	19,90	20
51	16,68	16,55	mä	24,83	19,01	18
52	17,25	17,45	mä	24,45	19,90	19
69	19,57	19,68	mä	28,88	21,58	20
70	18,87	19,25	mä	28,60	21,51	20
71	21,18	20,80	mä	28,97	23,43	19
40	17,02	17,75	mä	27,31	20,09	20
59	17,60	17,90	mä	26,89	19,69	19
61	17,94	17,70	mä	28,97	21,48	20
63	14,92	14,63	mä	23,42	17,23	18
67	17,90	19,10	mä	25,67	20,20	19
68	19,10	19,90	mä	29,03	22,26	19
7	16,57	16,98	mä	24,67	19,83	15
36	12,62	11,55	lp	17,45	16,05	17
37	15,62	15,35	mä	25,72	19,59	18
72	14,31	12,85	mä	24,13	18,09	17
73	13,43	12,85	mä	20,80	17,11	16
14	14,13	12,85	lp	19,90	18,68	17
19	16,14	15,95	lp	20,45	19,84	17
89	18,29	15,08	mä	28,42	24,14	19
77	15,93	15,40	mä	25,00	18,86	19

Männyn läpimitan harha, hajonta, keskineliövirhe ja sen neliöjuuri sekä luotettavuuseräillä kuvioilla

Liite 3

Kuvio	MÄ_oma(ppa)	MÄ_LASER	harha b	Pinta-ala (ha)	hajonta s	r	R %
42	19,12	21	2,235	1,19	9,79	11,045	88,955
45	20,54	19	-1,279	0,829999	0,25	10,282	89,718
46	16,90	19	2,652	1,259999	12,07	12,501	87,499
50	20,42	18	-3,630	1,5	3,07	10,343	89,657
55	21,74	20	-2,523	1,45	0,82	9,715	90,285
56	22,81	19	-1,943	0,509999	4,06	9,259	90,741
65	21,41	18	-3,103	0,91	5,33	9,864	90,136
80	21,97	21	-1,115	1,149999	0,00	9,613	90,387
51	19,06	19	-0,122	2,029999	1,75	11,081	88,919
52	20,20	20	-0,246	1,23	0,77	10,455	89,545
69	21,58	22	0,525	1,25	2,48	9,787	90,213
70	21,85	21	-1,692	1,99	0,04	9,666	90,334
71	23,69	20	-4,059	1,1	8,02	8,915	91,085
40	20,27	20	-0,149	0,55	0,28	10,419	89,581
59	19,77	19	-2,064	2,68	0,13	10,683	89,317
61	21,90	22	0,099	0,99	1,18	9,644	90,356
63	17,06	19	1,785	0,92	7,90	12,380	87,620
67	20,20	21	0,560	0,699999	2,24	10,455	89,545
68	23,03	20	-2,909	0,959999	4,00	9,171	90,829
7	19,87	15	-4,432	0,91	13,70	10,629	89,371
36	18,42	19	0,452	0,779999	1,92	11,466	88,534
37	21,14	20	-2,132	1,87	0,04	9,990	90,010
72	19,09	18	-0,916	0,839999	0,01	11,063	88,937
73	15,14	17	1,507	0,81	6,58	13,950	86,050
14	20,75	18	-2,338	0,85	2,63	10,178	89,822
19	21,91	18	-10,674	2,73	23,28	9,639	90,361
89	23,62	20	-1,810	0,5	3,46	8,941	91,059
77	20,71	21	0,177	0,61	1,00	10,198	89,802

Koko puuston läpimitan harha, hajonta, keskineliövirhe ja sen neliöjuuri sekä luotettavuuseräillä kuvioilla

Liite 4

Kuvio	Oma_yht(ppa)	LASER_yht	harha b	Pinta-ala (ha)	hajonta s	r	R %
42	19,36	19	-0,428	1,19	1,04	7,808	92,192
45	19,28	18	-1,062	0,829999	0,00	7,840	92,160
46	16,9	18	1,386	1,259999	7,22	8,945	91,055
50	19,03	18	-1,545	1,5	0,10	7,943	92,057
55	21,7	20	-2,465	1,45	0,24	6,966	93,034
56	21,09	18	-1,576	0,509999	1,65	7,167	92,833
65	16,25	17	0,683	0,91	3,80	9,302	90,698
80	19,9	20	0,115	1,149999	2,23	7,596	92,404
51	19,01	18	-2,050	2,029999	0,16	7,952	92,048
52	19,9	19	-1,107	1,23	0,19	7,596	92,404
69	21,58	20	-1,975	1,25	0,10	7,005	92,995
70	21,51	20	-3,005	1,99	0,09	7,028	92,972
71	23,43	19	-4,873	1,1	10,82	6,452	93,548
40	20,09	20	-0,049	0,55	0,80	7,524	92,476
59	19,69	19	-1,849	2,68	0,98	7,677	92,323
61	21,48	20	-1,465	0,99	0,03	7,037	92,963
63	17,23	18	0,708	0,92	3,92	8,773	91,227
67	20,2	19	-0,840	0,699999	0,01	7,483	92,517
68	22,26	19	-3,130	0,959999	3,71	6,791	93,209
7	19,83	15	-4,395	0,91	11,38	7,623	92,377
36	16,05	17	0,741	0,779999	3,93	9,418	90,582
37	19,59	18	-2,973	1,87	0,16	7,716	92,284
72	18,09	17	-0,916	0,839999	0,03	8,356	91,644
73	17,11	16	-0,899	0,81	0,03	8,835	91,165
14	18,68	17	-1,428	0,85	0,13	8,092	91,908
19	19,84	17	-7,753	2,73	6,53	7,619	92,381
89	24,14	19	-2,570	0,5	7,40	6,262	93,738
77	18,86	19	0,085	0,61	1,25	8,015	91,985

Kuvio 42			
d	d ²	d ³	d ² *(d-y)^2
7,7	59,29	456,533	8061,291
9,15	83,7225	766,0609	8728,175
9,8	96,04	941,192	8778,084
9,8	96,04	941,192	8778,084
9,9	98,01	970,299	8771,721
10,1	102,01	1030,301	8747,774
10,6	112,36	1191,016	8622,926
10,85	117,7225	1277,289	8526,177
10,95	119,9025	1312,932	8481,182
11,25	126,5625	1423,828	8325
11,95	142,8025	1706,49	7841,755
12,15	147,6225	1793,613	7674,768
12,3	151,29	1860,867	7541,586
12,4	153,76	1906,624	7449,13
12,4	153,76	1906,624	7449,13
12,7	161,29	2048,383	7154,867
13,1	171,61	2248,091	6725,736
13,85	191,8225	2656,742	5824,49
13,85	191,8225	2656,742	5824,49
14,15	200,2225	2833,148	5435,59
14,2	201,64	2863,288	5369,514
14,25	203,0625	2893,641	5303,115
14,45	208,8025	3017,196	5034,549
14,85	220,5225	3274,759	4486,146
15,1	228,01	3442,951	4138,514
15,25	232,5625	3546,578	3929,138
15,3	234,09	3581,577	3859,311
15,6	243,36	3796,416	3441,167
15,95	254,4025	4057,72	2958,825
16,1	259,21	4173,281	2755,372
16,1	259,21	4173,281	2755,372
16,15	260,8225	4212,283	2688,127
16,3	265,69	4330,747	2488,384
16,6	275,56	4574,296	2099,638
16,65	277,2225	4615,755	2036,476
16,7	278,89	4657,463	1973,833
16,85	283,9225	4784,094	1789,239
17,25	297,5625	5132,953	1325,218
17,45	304,5025	5313,569	1111,263
17,55	308,0025	5405,444	1009,437
17,65	311,5225	5498,372	911,2959

17,75	315,0625	5592,359	817,0286
18	324	5832	599,5789
18,1	327,61	5929,741	520,4026
18,15	329,4225	5979,018	482,5865
18,25	333,0625	6078,391	410,6251
18,3	334,89	6128,487	376,5309
18,3	334,89	6128,487	376,5309
18,75	351,5625	6591,797	130,9666
18,8	353,44	6644,672	110,9774
18,8	353,44	6644,672	110,9774
19,05	362,9025	6913,293	34,95372
19,15	366,7225	7022,736	16,22642
19,15	366,7225	7022,736	16,22642
19,3	372,49	7189,057	1,356654
19,45	378,3025	7357,984	3,040464
19,85	394,0225	7821,347	94,4697
19,9	396,01	7880,599	115,3269
20,15	406,0225	8181,353	253,1742
21,25	451,5625	9595,703	1612,429
21,3	453,69	9663,597	1706,892
21,3	453,69	9663,597	1706,892
21,65	468,7225	10147,84	2457,276
21,7	470,89	10218,31	2577,634
22	484	10648	3372,392
22,15	490,6225	10867,29	3818,096
22,2	492,84	10941,05	3974,071
22,6	510,76	11543,18	5360,596
23,8	566,44	13481,27	11164,81
25,55	652,8025	16679,1	25010,02
25,95	673,4025	17474,79	29241,48
26,6	707,56	18821,1	37085,01
27,45	753,5025	20683,64	49311,04
28,6	817,96	23393,66	69830,17
1258,55	22935,25	444034,5	468905,7
ppa:lla painotettu lpm (y)	19,36035		
		s ² =	20,44476
		s=	4,521588
		alaraja	18,31331
		yläraja	20,40739
n= 74		laser	19