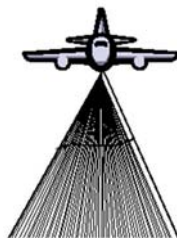


Henrik Roschier

LASERKEILAUSAINEISTON
TARKISTUSMITTAUS
Testattavana UPM Metsän menetelmä

Opinnäytetyö
Metsätalouden koulutusohjelma

Kesäkuu 2011




UPM

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 6.6.2011
Tekijä(t) Henrik Roschier	Koulutusohjelma ja suuntautuminen metsätalouden koulutusohjelma	
Nimeke Laserkeilausaineiston tarkistusmittaus: testattavana UPM Metsän menetelmä		
Tiivistelmä <p>Laserkeilaus lentokoneesta käsin (Airborne Laser Scanning, ALS; Light Detection and Ranging, LiDaR) on nopeasti yleistyvä metsien kaukokartoitusmenetelmä. Sitä käyttäen voidaan ennustaa kuviokohtaisia puustotunnuksia tarkemmin kuin perinteisellä, maastossa suoritettavalla kuvioittaisella arvioinnilla. Lisäksi puustotunnusten tulkinnassa päästään suurempaan alueelliseen tarkkuuteen, kun käytetään tulkintayksikkönä metsätalouskuvion sijasta sitä pienempää ja puustoltaan homogeenisempää mikro- eli puustokuviota.</p> <p>Metsäninventoinnin kehittämisessä pyritään minimoimaan maastotyön osuus, koska se on yleensä inventoinnin kallein vaihe. Maastomittauksia tarvitaan kuitenkin edelleen myös laserkeilauksen yhteydessä sekä etukäteen laseraineiston tulkinnan referenssiaineistoksi että inventointitulosten laadun tarkistamiseksi eli validoimiseksi jälkikäteen. Näistä jälkimmäinen on tämän työn aihe.</p> <p>Laserinventoinnin laatua kontrolloidaan vertaamalla sen tuloksia riippumattomin maastomittauksin kerättyyn kontrolliaineistoon. Tarvittaessa laserkeilauksella tuotettuja puustotunnuksia korjataan tarkistusmittauksen osoittamalla tavalla. Kyseessä on siis kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisen kaltainen menettely. Laserkeilauksen kontrolli-inventointi ei kuitenkaan ole vielä vakiintunut käytäntö varsinkaan puustokuviotasolla, vaan useiden menetelmien käyttökelpoisuutta tutkitaan.</p> <p>Tässä työssä tarkastellaan UPM Metsän kehittämää laserkeilauksen tarkistusmittausmenetelmää. Projekti toteutettiin talvella 2010–2011 suorittamalla osoitettuun otantaan perustuva puustokuviokohtainen ympyräkoelainventointi Nikkarilan opetusmetsässä. Vertailukohtana oli opetusmetsästä vuonna 2008 tuotettu laserkeilausaineisto. Työssä keskityttiin tutkimaan ja kehittämään itse maastomittausmenetelmää, joten varsinaista laseraineiston validointia ei tehty.</p> <p>Maastokontrollimittauksen tarkkuuteen ja luotettavuuteen voidaan vaikuttaa monin tavoin. Näistä tärkeimpiä ovat mittaustyön huolellisuuden ohella tarkistusmitattavien puustokuvioiden valintamenetelmä sekä maastomittauksessa käytettävä koealakoko.</p>		
Asiasanat (avainsanat) laserkeilaus, kaukokartoitus, metsäninventointi, otantainventointi, maastomittaus, koealamittaus, tarkistusmittaus, kontrollimittaus, validointi, mikrokuvio, puustokuvio		
Sivumäärä 59 s. + liitt. 17 s.	Kieli suomi	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn201183754
Huomautus (huomautukset liitteistä) Opinnäyte on osittain luottamuksellinen.		
Ohjaavan opettajan nimi Heikki Lehmonen	Opinnäytetyön toimeksiantaja UPM-Kymmene Metsä	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	Date of the bachelor's thesis June 6, 2011	
Author(s) Henrik Roschier	Degree programme and option Degree Programme in Forestry	
Name of the bachelor's thesis Controlling the Accuracy of Laser Scanning: Analysis of a Field Measurement Method Developed by UPM		
Abstract <p>Airborne laser scanning (ALS), or, light detection and ranging (LiDaR), is a method of remote sensing which is becoming more and more common in the field of forest inventory. By using ALS it is possible to estimate stand characteristics such as volume, diameter and height with greater accuracy than with the method traditionally used for forest management planning, inventory by compartments. The information acquired with laser scanning is usually allocated to so-called microsegments, which are smaller and more homogeneous areal units than the traditional growing stock compartments.</p> <p>Due to high expenses, it is often worthwhile to try to keep field measurements to a minimum when carrying out a forest inventory. However, at the moment even a laser survey cannot do without field measurements. Field data is needed in two stages: first, as reference data before the actual laser scanning is carried out, and second, for assessing the accuracy of the laser estimates. This study concentrates on the latter.</p> <p>The quality of laser data is controlled by comparing it to reference data gathered by independent field measurements. If necessary, the laser estimates must then be calibrated accordingly. Thus, the field control measurements should be as accurate as possible but, at the same time, attainable with reasonable costs. There are currently no fully established methods of field control measurements for this purpose, so there is a need for further studies.</p> <p>In this study, a field measurement method developed by UPM-Kymmene was analysed and developed. The inventory was carried out during winter 2010–2011 and the laser data required was supplied by the Nikkarila teaching forest. First, the microsegments to be measured were selected by stratified sampling, after which the field control measurements were performed using fixed-size circular plots. This study concentrated on the field measuring method proper and not on controlling the actual laser data.</p> <p>Several factors contribute to the reliability and accuracy of a field control inventory. The microsegments to be measured should be selected carefully and the actual measurements be carried out with great exactitude. The size of the sample plots is also an important factor considering both the reliability and the cost-effectiveness of the control inventory.</p>		
Subject headings, (keywords) laser scanning, airborne laser scanning (ALS), light detection and ranging (LiDaR), remote sensing, forest inventory, sample inventory, field control measurement, sample plot measurement, quality assessment, microsegment		
Pages 59 p. + app. 17 p.	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn201183754
Remarks, notes on appendices The contents of this thesis are partly confidential.		
Tutor Heikki Lehmonen	Bachelor's thesis assigned by UPM-Kymmene Metsä	

SISÄLTÖ

KUVAILULEHDET

1 JOHDANTO	1
1.1 Laserkeilaus metsäinventoinnissa	1
1.2 Maastokontrollimittaus eli validointi	2
1.3 Työn tavoite	3
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	4
2.1 Aineisto.....	4
2.2 Menetelmät	8
2.2.1 Kontrollikuvioiden valinta	8
2.2.2 Maastomittaus	13
2.2.3 Tietojen käsittely ja laskenta.....	19
3 TULOKSET	24
3.1 Puustotunnusten keskivirheet	24
3.1.1 Puustotunnusten keskivirheet koko aineistossa	24
3.1.2 Puustotunnusten keskivirheet ositteittain.....	25
3.2 Maastomittaus kokonaisuutena.....	26
3.2.1 Olosuhteet ja ajankäyttö.....	26
3.2.2 Lukupuiden mittaus	28
3.2.3 Paikannus	30
3.3 Koealasäde ja -koko	33
3.4 Esimerkki laserkontrollista.....	42
4 POHDINTAA	46
4.1 Tietojen käsittely	46
4.2 Maastomittauksen suunnittelu ja toteutus	48
4.3 Yhteenveto	51
LÄHTEET	52
LIITTEET.....	56

1 JOHDANTO

1.1 Laserkeilaus metsäinventoinnissa

Laserkeilaus lentokoneesta käsin (Airborne Laser Scanning, ALS; Light Detection and Ranging, LiDaR) on nopeasti yleistynyt metsien kaukokartoitusmenetelmä. Sitä käytetään voidaan ennustaa kuviokohtaisia puustotunnuksia (esim. keskiläpimitta, keskipituus, pohjapinta-ala, tilavuus) selvästi tarkemmin kuin perinteisellä, maastossa suoritettavalla kuvioittaisella arvioinnilla (Maltamo ym. 2008; Suvanto ym. 2005; Uuttera ym. 2006). Laserkeilauksella mitataan tarkasti paikantaen ja kolmiulotteisesti mallintaen puuston latvuston ja maanpinnan välisiä korkeuseroja, joista voidaan suoraan laskea puuston pituustiedot (ns. latvuston pituusmalli). Muut puustotunnukset puolestaan voidaan johtaa pituustiedoista erilaisilla laskentamalleilla. (Suvanto ym. 2005; Ärölä 2008.)

Kun puustotietoja tulkitaan, ne on sidottava paikkaan jollakin käyttökelpoisella tavalla. Tulkinnan perusyksikkönä voi toimia esim. perinteinen metsätaloustietokuva, mutta kasvavassa määrin käytetään sitä hieman pienempää, puustoltaan homogeenisempää mikro- eli puustokuvioita (Kärkkäinen 2010; Miettinen 2009). Laserkeilauksessa puustotietoja tuotetaan pääasiassa kahdella tavalla: yksinpuintulkintana ja aluepohjaisena tulkintana. Ensin mainittu, kalliimpi menetelmä edellyttää ns. tiheäpulsseista keilausta (5–30 laserpulsssia/m²), mutta jälkimmäiseen riittää harvapulssinen aineisto (0,5–2 pulsssia/m²). Aluepohjainen laserinventointi tarvitsee tuekseen lisäksi numeerisen ilmakehän aineiston, jotta esimerkiksi puulajit voidaan tunnistaa (Ärölä 2008). Myös maastonmuotojen mittaustuloksista on hyötyä esim. metsäteitä suunniteltaessa, ja laserdatalle on ylipäänsä keksittävässä lukuisia sovelluksia monilla toimialoilla. (Maltamo ym. 2008; Miettinen 2009; Närhi ym. 2008.)

Vaikka laserkeilaus on lupaava menetelmä, on silläkin ongelmakohtansa; tällä hetkellä tärkeimpiä ovat yleisen luotettavuuden parantamisen ohella mm. puulajin, läpimitan sekä puuston iän määrittäminen (Maltamo ym. 2008). Tutkimusta tehdäänkin jatkuvasti sekä laserkeilauksen mittaustarkkuuden parantamiseksi että myös mitattavissa olevien tunnusten valikoiman lisäämiseksi (Suvanto ym. 2005; Maltamo ym. 2009; Packalén 2009). Laserkeilauksella saadun aineiston yhdistäminen muilla tavoilla hankittuun metsävaratietoon lienee lupaavin kehityssuunta tiedon luotettavuuden kannal-

ta. Tällaisia yhdistettävissä olevia tietolähteitä ovat esimerkiksi numeeriset ilmakuvat, maastoinventointi sekä hakkuukonemittaus. Ilmakuva-aineisto auttaa esim. puulajitunnistuksessa ja laserkeilattujen metsiköiden hakkuukonemittatiedot taas antavat jälkikäteen tarkkaa tietoa puustosta. (Holopainen ym. 2006; Kangas ym. 2003; Korpilahhti 2009; Maltamo ym. 2008; Miettinen 2009; Uuttera ym. 2006).

1.2 Maastokontrollimittaus eli validointi

Metsäinventoinnin kehittämisessä pyritään minimoimaan maastotyön osuus kustannusten säästämiseksi. Maastomittauksia kuitenkin tarvitaan edelleen sekä etukäteen laseraineiston tulkinnan referenssiaineistoksi (Miettinen 2009) että inventointitulosten laadun tarkistamiseksi eli validoimiseksi jälkikäteen (UPM Metsä 2010; Wallenius 2010, 1–2). Näistä jälkimmäinen on tämän työn aihe.

Laserinventoinnin laatua kontrolloidaan vertaamalla sen tuloksia riippumattomin maastomittauksin kerättyyn kontrolliaineistoon (Wallenius 2010). Jos havaitaan harhaa tai muita merkittäviä poikkeamia, voi olla syytä reklamoida laserkeilauksen toteuttajalle ja selvittää asia tarkemmin. Jos voidaan varmistua kontrollimittauksen luotettavuudesta, laseraineiston lukuarvoja on korjattava tarvittavilla, validoinnin osoittamilla tavoilla. Kyseessä on siis lähinnä kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisen kaltainen menettely. Siinä metsäalueen puustotietojen luotettavuus tarkistetaan mittaamalla valitut tarkistuskuviot systemaattisella koealaotannalla. Tarkistusmittauksen tuloksia verrataan kuvioittaisella arvioinnilla saatuihin tietoihin, ja tarvittaessa jälkimmäisiä korjataan. (Laasasenaho ym. 1986.) Laserkeilauksen kontrolli-inventointi ei kuitenkaan ole vielä vakiintunut käytäntö varsinkaan mikrokuvioitasolla, vaan useiden menetelmien käyttökelpoisuutta tutkitaan (Wallenius 2010).

UPM Metsä on laatinut omaan käyttöönsä alustavan maastomittausmenetelmän, jolla on tarkoitus tuottaa luotettavaa ja harhatonta vertailuaineistoa kaukokartoittaen tulkitun puustotiedon laadun arvioimiseksi (UPM Metsä 2010). Suuntaus on kohti minimaalista maastotyöosuutta sekä toisaalta myös kohti mikro- eli puustokuvioiden hyödyntämistä perinteisten metsätaloustietojen sijaan (Kärkkäinen 2010). Siksi tämän työn aiheeksi valikoitui ko. tarkistus- eli kontrollimittausmenetelmän käyttökelpoisuuden tutkiminen; maastotyön osuus koostuu puustokuviokohtaisista ympyräkoelamittauksista. On ratkaisevan tärkeää, että kaukokartoitusaineiston vertailukohtana

käytettävä maastoaineisto on mahdollisimman luotettavaa (Holopainen ym. 2009; Kangas ym. 2002; Kangas ym. 2003).

UPM Metsä pyrkii kehittämään metsävaratietojen hankinta- ja hallintajärjestelmiä ensisijaisesti omaan käyttöön. Tässä tapauksessa kontrollimittausmenetelmän testaaminen on kuitenkin mahdollista myös Nikkarilan opetusmetsää hyödyntäen, koska siitä on olemassa tulkittua harvapulssista (0,7 pulssia/m²) laserkeilausdataa vuodelta 2008. Tässä työssä tarkasteltavaa mittausmenetelmää on kokeiltu vasta kevästä 2010 alkaen, joten lisäselvitykset ovat tarpeen. Jo alustavat tulokset ovat kuitenkin olleet lupaavia (Lehtinen 2010a), eli lisäkokemusten hankkiminen ja menetelmän kehittäminen on kannattavaa. Jatkossa menetelmää tullaan käyttämään ja kehittämään UPM:n omissa metsissä, koska niistä valmistuu lähitulevaisuudessa lisää tulkittua laserkeilausaineistoa.

Laserkeilausaineiston maastotarkistusmittausta käsittelevää tutkimusta ei ole julkaistu vielä kovin runsaasti. Näin ollen erityisesti Wallenius (2010) on kiinnostava vertailukohte, ja toisaalta se on tarjonnut myös ennakkotietoja tämän työn toteutuksen suunnitteluun. Kontrollimittauksen problematiikka on kuitenkin samankaltaista kuin metsän mittauksessa ja inventoinnissa yleensä, vain laserkeilaus vertailukohteena on uutta. Metsäninventointia koskeva tutkimus ja kirjallisuus tarjoaa siten työkaluja tällaisen mittausmenetelmän kehittämiseen. Jatkossa juuri laserkeilauksen validointia käsittelevä tutkimus todennäköisesti tarkentaa mm. sitä, paljonko ja millaisia maastomittauksia tarvitaan riittävään tarkkuuteen pääsemiseksi. Myös kontrollikuvioiden valinta on tärkeä osa prosessia, joten kriteerit sen toteuttamiseen toivottavasti täsmenevät.

1.3 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoite on tutkia ja kehittää UPM Metsän laatiman tarkistusmittausmenetelmän käyttökelpoisuutta (UPM Metsä 2010). Menetelmällä pyritään maastomittauksin hankkimaan luotettavaa vertailuaineistoa kaukokartoitustulkinnan laadun tarkistamiseksi mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Työn tutkimusaineistona on Nikkarilan opetusmetsän Kotipalsta sekä siitä vuonna 2008 inventoitu laserkeilausaineisto.

Työn aineisto on hankittu suorittamalla ositettuun otantaan perustuva maastotarkistusmittaus UPM:n viimeisimpien menetelmäohjeiden mukaisesti (UPM Metsä 2010). Tässä raportissa tarkastelen kriittisesti mittausten menetelmän soveltamisen sujuvuutta niin alkuvaiheessa (mitattavia puustokuvioita valittaessa), käytännön mittaustyössä kuin tuloksia analysoidessani. Kuvailen yksityiskohtaisesti työn suorittamisen vaiheet, esitän mittaustulosten tilastollisen tarkastelun sekä tuon esille työn aikana syntyneet kehittämisehdotukset.

Esitän lisäksi kontrollimittauksen esimerkinomaisen vertailun laserkeilausdatan kanssa kokonaistilavuuden osalta. Vertailu on kuitenkin vain suuntaa antava eikä kattava validointi, koska kaikkien laserkeilauksella tulkittujen puustotunnusten luotettava päivittäminen samaan ajankohtaan kontrolliaineiston kanssa osoittautui suhteettoman työlääksi tämän opinnäytteen mittakaavaan nähden. Toisaalta vertailu on hyvin havainnollinen ja todennäköisesti myös oikeasuuntainen. Tämän työn pääpaino on kuitenkin UPM:n tarkistusmittausmenetelmän sisäisessä tarkastelussa.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

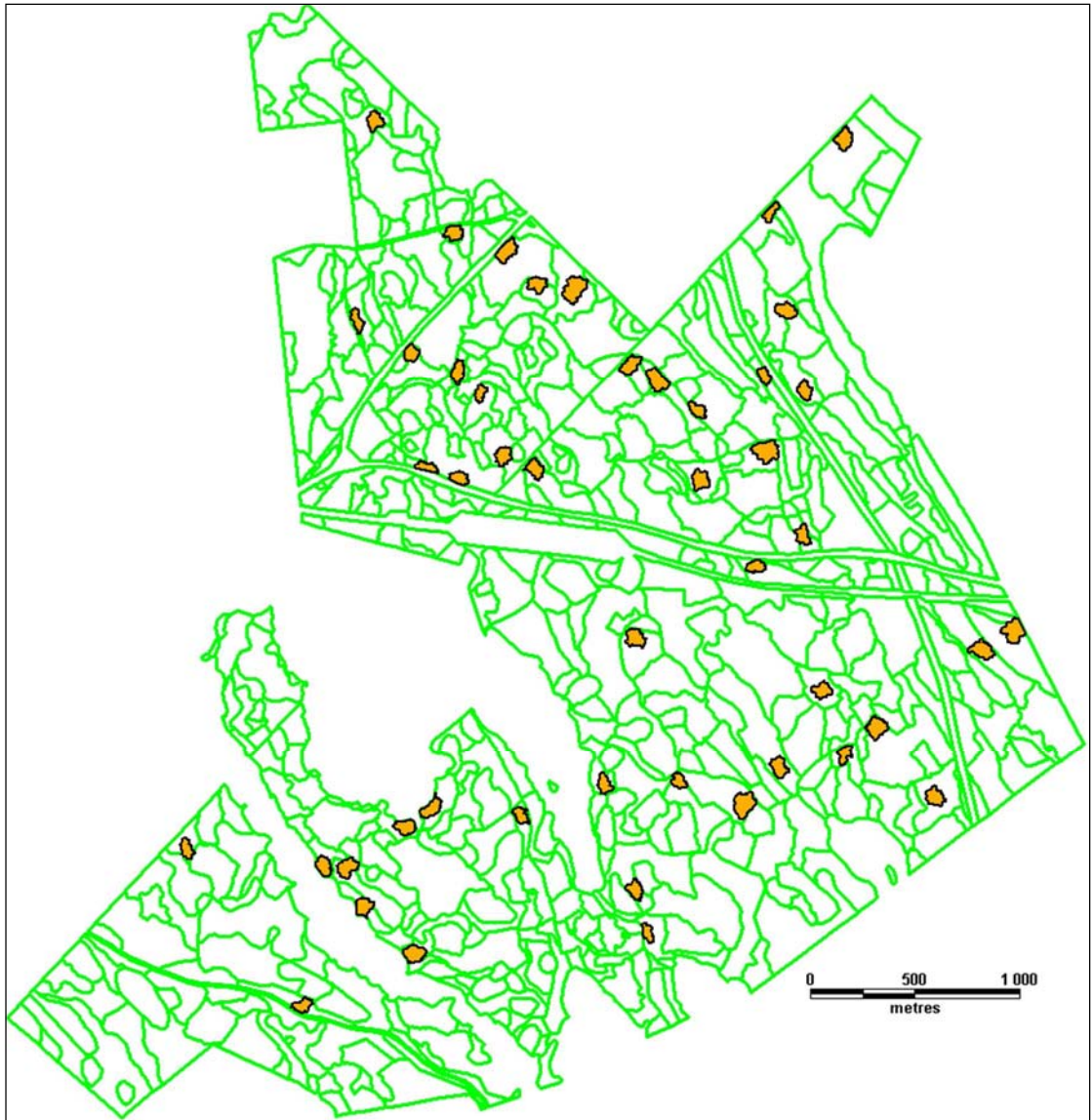
2.1 Aineisto

Tämän työn aineistona on Mikkelin ammattikorkeakoulun Nikkarilan kampuksen opetusmetsä (Kotipalsta, 1 160 ha), joka inventoitiin aluepohjaisella laserkeilauksella elokuussa 2008. Laserkeilauksen ja ilmakuvauksen suoritti sekä puustotiedot tulkitsti Blom Kartta Oy. (Miettinen 2009.) Näin hankittu laserdata sekä Kotipalstan jako puustokuvioihin eli mikrokuvioihin oli tässä työssä käytössä MapInfo-muotoisena paikkatietona sekä Microsoft Excel -laskentataulukkona. Mainittakoon, että Nikkarilan laserkeilauksen puustotulkinta on tehty myös hilaruudukkona (hilaruudun koko 20 m x 20 m). Tällöin jokaiselle hilaruudulle lasketaan puulajeittain puustotunnukset, jotka ovat yleistettävissä suuremmiksi kokonaisuuksiksi hilaruutuja yhdistelemällä (Miettinen 2009). Laserkeilauksen perusteella tulkitut puustotunnukset on laskettu myös ennestään olemassa oleville metsätalousokuville.

Kontrollimittauksen maastotyöt toteutettiin ajanjaksolla 5.1.–18.3.2011. Mittauspäiviä kertyi yhteensä 24, mutta tuntimäärä päivien sisällä vaihteli paljon, joten työpäivät

eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Mittaukseen valikoitui 57 puustokuvioita, joista 47 lopulta mitattiin; kymmenellä kuviolla mittaus estyi laserkeilauksen jälkeen tehdyn hakkuun takia, kesän 2010 myrskytuhojen vuoksi tai muusta syystä. Myös mitatuista puustokuvioista seitsemällä oli tehty toimenpiteitä keilausajankohdan jälkeen, mikä ilmeni vasta jälkikäteen. Ne otettiin silti mukaan laskentaan, koska tehdyt toimenpiteet eivät estä ko. kuvioiden käyttämistä maastokontrollimenetelmän sisäisessä tarkastelussa – laserkeilauksen validointiin ne eivät kuitenkaan kelpaisi. Maastokontrollin kattavuutta voitaneen pitää riittävänä, koska UPM:n mittausohjeen mukaan kontrollissa tulisi mitata noin 50–60 puustokuvioita (UPM Metsä 2010).

Maastokontrollissa mitattujen puustokuvioiden keskikoko on 0,54 ha (mediaani 0,51 ha, vaihteluväli 0,30–0,99 ha). Kaikkiaan Kotipalstan alueelle on tulkittu 6 347 puustokuvioita, joiden keskikoko on 0,18 ha (mediaani 0,15 ha, vaihteluväli 0,03–1,86 ha); metsätalouskuvioita Kotipalstalla on 551 kpl. Mitatut kontrollikuviot poimittiin osite-tulla otannalla, jota tarkastelen lähemmin alaluvussa 2.2.1. Puustokuvioiden lopullinen valinta oli kompromissi tilastollisen edustavuuden ja käytännön sujuvuuden välillä, toisin sanoen useimmat kontrollikuviot sijaitsivat kohtuullisen matkan päässä lähimmästä tiestä. Kuvassa 1 on esitetty mitattujen puustokuvioiden sijainti Kotipalstan alueella.



KUVA 1. Mitattujen puustokuvioiden sijainti Nikkarilan Kotipalstalla, taustalla metsätaloussuunnitelma (selkeyden vuoksi täydellinen puustokuviointi ei ole näkyvässä).

Kaikkiaan maastokontrollissa mitattiin 408 ympyräkoelaa, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 4,28 ha. Otannassa valittujen 47 puustokuvion pinta-ala on yhteensä 25,52 ha. Kontrollikuvioiden pinta-alasta mitattiin siis 16,8 %, ja valitut puustokuviot puolestaan edustavat 2,2 prosenttia koko Kotipalstan pinta-alasta. Yhdeltä kontrollikuvioilta mitattiin keskimäärin 8,7 koelaa; taulukoista 1 ja 2 ilmenevät mitatut koelamäärät sekä käytetyt säteet. Yhdeltä puustokuvioilta mitattujen koalojen yhteispinta-ala oli keskimäärin 912 m² eli 17,9 % keskimääräisen puustokuvion pinta-alasta (vaihteluväli 400–2 100 m², 4,7 % – 49,5 %). Käytettävä koelasäde määräytyi puuston arvioidun runkoluvun mukaan, ja puustokuvion sisällä käytettiin aina samaa sädettä.

TAULUKKO 1. Mitatut koealamäärät.

koealoja kpl/puustokuvio	puustokuvioita kpl
10	18
9	11
8	9
7	4
6	4
5	1
yhteensä	47

TAULUKKO 2. Käytetyt koealasäteet.

koealasäde, m	yhden koealan pinta-ala, m ²	puustokuvioita kpl
3,99	50	14
4,89	75	8
5,64	100	6
6,91	150	16
9,78	300	3
yhteensä		47

Kaikkiaan maastossa mitattiin 3 340 lukupuuta (puulaji, rinnankorkeusläpimitta 1 mm tarkkuudella), joista puulajeittain joka seitsemäs eli yhteensä 522 kpl (15,6 %) mitattiin myös pituuskoepuuna (pituus 10 cm tarkkuudella). Yhdeltä puustokuvioilta kertyi keskimäärin 71 lukupuuta, yhdeltä koealalta keskimäärin 8,5. Pituuskoepuita kertyi vastaavasti keskimäärin 11 kpl/puustokuvio ja 1,3 kpl/koeala. Pituuden mittaaminen kaikista lukupuista ei ole tarpeellista, koska systemaattisella otannalla saadaan riittävän luotettava estimaatti ja samalla säästetään aikaa (Kangas ym. 2003, 76–77).

Nikkarilan opetusmetsän puusto on mäntyvaltaista, mikä näkyy selvästi aineistossa ja laskennassa. Tässä inventoinnissa puulaji on käsitettävä osittain luokkana, koska aluepohjaisessa laserkeilauksessa ei voida erottaa toisistaan eri lehtipuulajeja tai esim. metsäkuusta ja siperianlehtikuusta tai metsämäntyä ja kontortamäntyä (Ärölä 2008). Käytännössä näin tarkka erottelu ei usein olisi tarpeellistakaan metsäalueen tasoisen metsävaratiedon hankinnassa, joten käytin sekä otannassa että maastomittauksessa

kolmea puulajiluokkaa: mänty, kuusi ja lehtipuu (Lehtinen 2010c). Samanlainen jaotelu oli käytössä myös Walleniuksen (2010) tutkimuksessa. Puulajijakauma on esitetty tarkemmin taulukossa 3. Kuolleita pystypuita ei eritelty puulajeittain eikä niiden pituuksia mitattu.

TAULUKKO 3. Lukupuiden puulajijakauma.

puulaji	lukupuita kpl	% lukupuista	koepuita kpl	% koepuista	esiintyvyys puustokuvioilla
mänty	1 980	59,3 %	298	57,1 %	46
kuusi	630	18,9 %	105	20,1	32
lehtipuu	684	20,5 %	119	22,8 %	42
(kuollut)	46	1,3 %	0	0 %	18
yhteensä	3 340	100 %	522	100 %	(47)

2.2 Menetelmät

2.2.1 Kontrollikuvioiden valinta

Maastotarkistusmittaukseen valitaan noin 50–60 puustokuvioita kontrollikuvioiksi, joilla maastomittaukset tehdään. Valintaa tehtäessä tai viimeistään maastossa on varmistuttava, ettei puustokuvioilla ole tehty hakkuita tai muita toimenpiteitä laserkeilauksen jälkeen, jotta puustotiedot ovat vertailukelpoisia. (UPM Metsä 2010.)

Tässä työssä valinta tapahtui kaksivaiheisena ositettuna otantana, jossa otokseen valitut kontrollikuviot edustavat kaikkia Kotipalstan puustokuvioita. Kontrollikuvioiden laskentatulosten perusteella tehdään johtopäätöksiä kaikkien puustokuvioiden laserkeilausinventoinnin paikkansapitävyydestä, eli toisin sanoen suoritetaan validointi. (Auvinen 1997, 74–81; Kangas ym. 2003, 185–191; Lehtinen 2010a; Tuominen ym. 2006.)

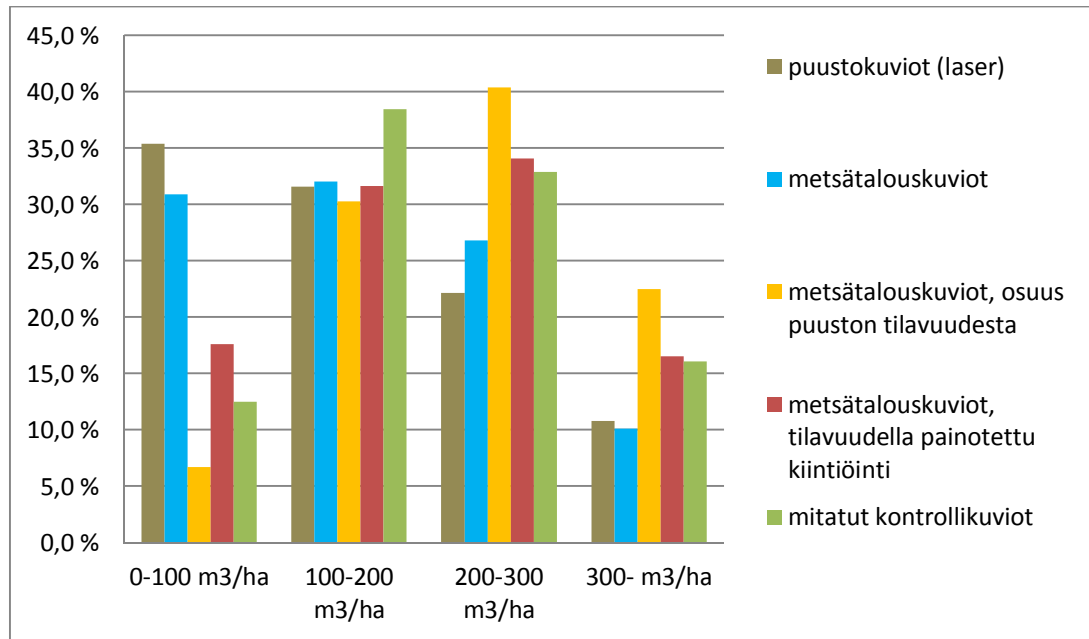
Otannan kaksivaiheisuus tarkoittaa sitä, että ensimmäisessä vaiheessa Kotipalstan metsätalouskuviot ositettiin pinta-alan ja tilavuuden mukaan suhteellisesti kiintiöiden pääpuulajeittain neljään tilavuusluokkaan. Asetin tavoitteeksi 50 kontrollikuvioita, jotka valikoituivat ensimmäisen vaiheen otoksesta. Toisessa vaiheessa poimittiin en-

simmäisen vaiheen otoksesta eli valittujen metsätalouskuvioiden sisältä sopivia puustokuvioita, joille varsinaiset koealat sijoitettiin. (Tuominen ym. 2006.) Kultakin metsätalouskuvioilta valittiin vain yksi puustokuvio, joten käytin metsäsuunnitelman kuvionumerointia myös puustokuvioille. On myös mahdollista ja suositeltavaakin antaa oma tunnisteensa jokaiselle puustokuvioille, jotta mahdollisilta sekaannuksilta vältyttäisiin. Kuten edellisessä aluvuossa todettiin, kaikkiaan 47 kontrollikuvioita lopulta mitattiin.

Tarkistusmitattavien puustokuvioiden otannassa yhdisteltiin aiemman metsätalous suunnitelman tietoja laserkeilausdataan, koska kaikki tarvittava informaatio ei käynyt ilmi jälkimmäisestä. Tällaisia tietoja ovat mm. kasvupaikkatyypit, puuston keski-ikä sekä toimenpidehistoria. Tarkistin myös merkittävimmän otantakriteerin eli pääpuulajitiedon metsätaloussuunnitelmasta, vaikka se onkin laskettavissa laserinventoinnin perusteella. On kuitenkin huomioitava, että puustokuvio on yleensä huomattavasti pienempi alue kuin perinteinen metsikkökuvio. Siksi metsätaloussuunnitelman tiedot eivät automaattisesti päde kaikilla yhden metsikkökuvion sisällä olevilla puustokuvioilla, vaan ne ovat joskus karkeitakin yleistyksiä. Tämä johtuu metsäsuunnittelussa perinteisesti käytetyn inventointimenetelmän, kuvioittaisen arvioinnin, luonteesta sekä alttiudesta subjektiivisille ja systemaattisille virheille (Auvinen 1997; Koivuniemi 2003). Puustokuvio saattaa myös ulottua useamman kuin yhden metsätalouskuvion alueelle, tosin yleensä vain pieneltä osin.

Ositus ei ollut puhtaasti pinta-alan mukaan kiintiöity, vaan painotin otantaa puuston kokonaistilavuudella. Näin menettelin ensinnäkin siksi, että Kotipalstalla on pinta-alassa laskien varsin paljon taimikoita, joista puustoltaan pienimpiä ei saada inventoitua laserkeilauksella kovin luotettavasti. Tämä olisi tietysti peruste inventoida taimikot maastossa sitäkin tarkemmin, kuten esimerkiksi Metsäkeskus tekee (Metsäkeskus 2010). Tässä työssä keskitytään kuitenkin UPM:n tarkistusmittausmenetelmään sinänsä, ei varsinaiseen laserkeilauksen validointiin. Toisaalta metsävaratietoja hankittaessa suurimman kiinnostuksen kohteena ovat usein runsaspuustoiset metsiköt, koska ne pitävät sisällään rahallisesti suurimman arvon. Siksi siirsin painotusta puhtaasta pinta-alakiintiöinnistä runsaspuustoisemmille ositteille painottamalla ositteita hehtaaritilavuudella: ositteen lopulliseksi prosenttiosuudeksi kontrollikuvioista tuli keskiarvo pinta-alaosuuden ja kokonaistilavuuden mukaisista prosenttiosuuksista. Esimerkiksi jos ositteen A osuus koko alueen pinta-alasta on 10 % ja koko alueen puuston tilavuus-

desta 20 %, kontrollikuvioista 15 % poimitaan tältä ositteelta. Kuviossa 1 on esitetty päätyminen lähtötilanteesta (pinta-alkiintiöinti) vaiheittain tilavuudella painotettuun kiintiöintiin; lopullisten mitattujen kontrollikuvioiden pinta-alaosuudet näkyvät oikeanpuoleisimmissa palkeissa vihreällä. Kontrollikuvioiden lukumäärät pääpuulajeittain ilmenevät taulukosta 4.



KUVIO 1. Metsätalous- ja puustokuvioiden osuudet Kotipalstan pinta-alasta (ja osin tilavuudesta) eri tavoin kiintiöiden.

Etukäteisotanta ja toteutunut luokkajakauma poikkeavat toisistaan lähinnä kahdessa alimmassa tilavuusluokassa. Tämä kuvastaa useiden tietolähteiden käyttämisen riskiä: metsäsuunnitelman, laserdatan ja tarkistusmittauksen puustotiedot luultavasti poikkeavat toisistaan sen verran, että kyseisen kaltaisia heittoja suuntaan tai toiseen pääsee syntymään. Esimerkiksi metsäsuunnitelman tietojen perusteella kuvio A voi kuulua pienimpään tilavuusluokkaan, mutta kontrollimittauksen mukaan luokkaan 100–200 m³/ha.

**TAULUKKO 4. Prosenttiosuudet kontrollikuvioiden pinta-alasta ositteittain (su-
luissa kontrollikuvioiden lukumäärä).**

m³/ha	mänty	kuusi	lehti	yhteensä
-99,9	7,6 % (4)	0,0 % (0)	5,2 % (2)	12,7 % (6)
100,0–199,9	35,2 % (16)	5,6 % (3)	0,0 % (0)	40,9 % (19)
200,0–299,9	28,4 % (13)	3,9 % (2)	0,0 % (0)	32,4 % (15)
300,0–	1,7 % (1)	7,1 % (4)	5,3 % (2)	14,0 % (7)
yhteensä	72,9 % (34)	16,7 % (9)	10,5 % (4)	100 % (47)

Kaiken kaikkiaan otanta oli yksi vaikeimmista työvaiheista koko inventoinnissa. Otannan haasteena on saada siitä sekä edustava että harhaton (Holopainen ym. 2004, 14–25; Ranta ym. 1999, 81–106). Edustavuuteen pyrittiin nimenomaan puuston määrän (tilavuudella painotettu kiintiöinti) sekä alueellisen kattavuuden (kuva 1) kannalta (Laasasenaho ym. 1986, 8). Edustavuudesta suoraan pinta-alan suhteen siis tingittiin hieman. Jos kuitenkin halutaan tasapuolisesti tietoa myös vähäpuustoisemmista ositteista esimerkiksi luotettavan kasvulaskennan pohjaksi, tässä työssä käyttämäni otannan painotus tilavuudella ei sovellu aina käytettäväksi. Asia riippuu myös inventoinnin tavoitteista ja aikajänteestä.

Otannassa tulisi huomioida kohdealueen puuston ja kasvupaikkojen vaihtelu, mutta tärkeimpiä ositteita on silti mitattava riittävästi (UPM Metsä 2010). Ositteiden tärkeys voi määräytyä esim. kustannusten jakautumisen ja työvaikeuden, puuston määrän, aiemman tiedon puutteiden tai muun syyn perusteella. Otokokojen määrittämiseksi on laadittu useita laskentatapoja, ja tapauskohtainen harkinta voi tuottaa lisää vaihtoehtoja. Tämän työn otanta lienee lähinnä ns. optimaalista allokointia, eli otannassa on painotettu etukäteistietojen perusteella tärkeinä pidettyjä ositteita. (Kangas 2006; Tuominen ym. 2006.)

Tässä työssä ongelmallisuutta lisäsi se, että kyseessä ei ollut puhtaasti otanta, vaan osittain myös näyte. Puustokuviot nimittäin poimittiin metsätalouskuvioiden sisältä harkinnanvaraisesti siten, että ne olisivat suhteellisen kookkaita (jotta koealoja mahtuisi riittävästi), kohtuullisen helposti saavutettavissa (melko lähellä tietä) sekä jonkin tunnistettavan maamerkin läheisyydessä (paikantamisen helpottamiseksi). Ongelmallista tämä on siksi, että harkinnanvaraisuus yleensä heikentää tutkimuksen tilastollista luotettavuutta (Holopainen ym. 2004, 19; Kangas ym. 2003, 7). Toisaalta tätä ehkä

kompensoi se, että keskivirheet on laskettu yksinkertaisen satunnaisotannan kaavalla, joka tässä tapauksessa antaa yliarvioita virheen suuruudesta (luku 2.2.3). Jos näyte on luotettavuudeltaan huonompi kuin teoreettisesti oikeaoppinen otos, kontrollikuvioiden määrää lisäämällä voitaneen kuitenkin parantaa tilannetta jatkossa. Jälkikäteen arvioiden otannassa painottui hieman liikaa kontrollikuvioiden suuri koko, koska koealojen sijoittelu puustokuvion sisällä voi olla vapaampaa, kunhan pysytään rajojen sisäpuolella ja koealaväli säilyy samana (luku 2.2.2).

Alun perin ositus oli tehty huomattavasti yksityiskohtaisemmin kuin tässä esitetty lopullinen versio; tilavuusluokkarajat olivat 50 m³/ha välein ja osituksessa olivat mukana myös kasvupaikat. Puulajit huomioiden luokkien määrä kasvoi siten kuitenkin suuremmaksi kuin otoskoko, mikä ei ole mielekäs (Holopainen ym. 2004, 46; Ranta ym. 1999, 28; Vastaranta ym. 2009, 370). Siksi päädyin yksinkertaistamaan puustokuvioiden otannan luokitusta. Kasvupaikalla on laskennassa merkitystä ainakin silloin, jos käytetään tarkempia pituusmalleja (alaluku 2.2.3), mutta karkeammallakin tasolla voidaan saada tyydyttävä tulos (Lehtinen 2011). Kasvupaikka ja pääpuulaji usein korreloivat keskenään tietyissä rajoissa, sillä yleensä männyn pääpuulajiasema painottuu karummille kasvupaikoille, kuusen ja lehtipuiden taas viljavammille. Voidaan myös ajatella, että kuvioiden pääpuulajiluokitus toimii otantavaiheessa vain aputunnuksena, jolla pyritään takaamaan riittävä määrä erikokoisia lukupuita kaikista pääpuulajeista. Laskentavaiheessa kuvioiden pääpuulajilla ei ole niin suurta merkitystä kuin puulajeittaisilla tuloksilla yli kuviorajojen. Tässä työssä lehtipuuvaltaisten kuvioiden osuus jäi vähäiseksi, joten niiden osalta tulokset ovat suuntaa antavia.

Walleniuksen tutkimuksessa (2010) mikrokuvioiden ositus oli perusteiltaan erilainen kuin tässä työssä. Tutkittavan alueen mikrokuviot jaettiin kuuteen ositteeseen toimenpidetarpeen mukaan, eli lähestymistapa oli operatiivisen metsäsuunnittelun mukainen. Vastaavasti Laineen (2010) opinnäytetyössä taimikot luokiteltiin toimenpidetarpeen kiireellisyyden mukaan. Tässä työssä puolestaan ositus tehtiin vain puustotunnusten ja metsikköjen ominaisuuksien mukaan (pääpuulaji, hehtaartilavuus). Näin ollen tulosten suora vertailu ei ole ongelmattonta, mutta toisaalta monipuolisen tiedon kertyminen edesauttaa menetelmien kehittämistä.

Tilavuus vaikuttaa joissakin tapauksissa hieman keinotekoiselta luokittelukriteeriltä, ellei se ole jollakin tavalla perusteltu. Metsäalueesta riippuen voisi ehkä jakaa tila-

vuusluokat suunnilleen kehitysluokkien mukaan, koska metsänhoitotoimenpiteet vaikuttavat puuston kokojakaumaan ja tilajärjestykseen. On nimittäin todennäköistä, että vasta harvennetuissa metsiköissä puustotunnusten hajonta on merkittävästi pienempää kuin kiireellisesti harvennuksen tarpeessa olevissa kohteissa. Jälkimmäisiä voidaan painottaa kontrollimittauksessa, jos halutaan kartoittaa tulevien toimenpiteiden kiireellisyyttä (Laine 2010). Muutoinkin voidaan painottaa kohteita, joiden puustotunnusten hajonta tiedetään etukäteen keskimääräistä suuremmaksi.

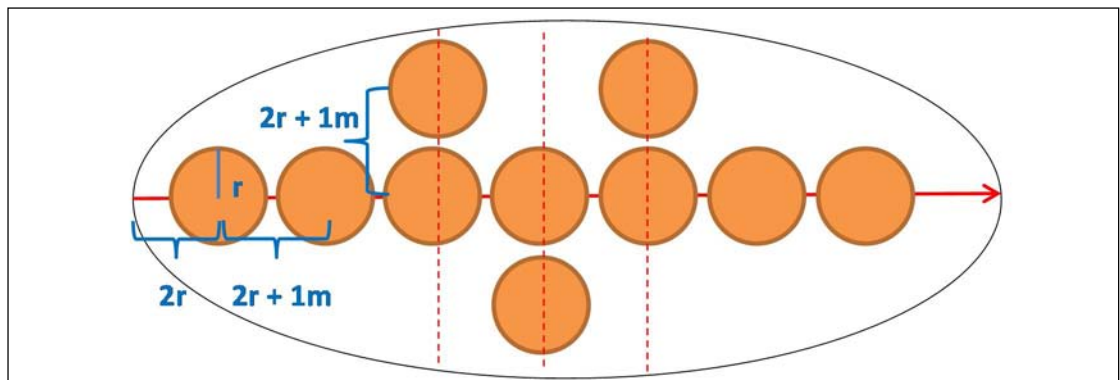
Muutkin vaihtoehdot luokittelukriteereiksi ovat harkitsemisen arvoisia, esim. keskipituus, joka on nimenomaan se puustotunnus, jota laserkeilain pystyy suoraan mittaamaan. Tällöin on kuitenkin olemassa otannan harhaisuuden riski, jos otos ankkuroidaan tarkistuksen kohteeseen eli laserdataan. Jos esimerkiksi laserkeilauksessa taimikoiden pituus tulkitaan systemaattisesti liian pieneksi tai suureksi, tai tiheässä puustossa alemmat jaksot mitataan puutteellisesti, näitä seikkoja ei välttämättä tule arvioida riittävällä painoarvolla maastokontrollissa, ellei niitä osata epäillä etukäteen. Varteenotettava on myös Walleniuksen maininta siitä, että maastokontrollin koealoja voitaisiin sijoittaa sellaisille puustokuvioille, jotka sijaitsevat kauimpana laserkeilauksen referenssikoealoista. Näin maastokoealojen alueellista kattavuutta tulisi täydennettyä. (Wallenius 2010, 5–6.) Lähestymistapaa voitaisiin myös siirtää hieman kohti ryväsoitantoa: lisätään kontrollikuvioiden kokonaismäärää ja poimitaan niistä ainakin osa siten, että muutamat sijaitsevat melko lähellä toisiaan ryppäinä, kun taas ryppäiden välimatka voi olla isompi. Tämä lisäisi inventoinnin kustannustehokkuutta, mutta todennäköisesti kuitenkin ei parantaisi samassa suhteessa tilastollista tarkkuutta. (Kangas 2006, 28–29.)

Otantamenetelmän sopivuus riippuu osittain kyseessä olevasta metsäalueesta. Sopivan menetelmän löytyminen on todennäköisesti yksi tehokkaimmista tavoista varmistaa inventoinnin onnistuminen sekä myös parantaa sen luotettavuutta. Siksi otantakehysten tarkasteluun kannattaa panostaa, kun kokemuksia tarkistusmittauksista kertyy.

2.2.2 Maastomittaus

Maastomittauksen perustana on puustokuvion pisimmälle mahdolliselle halkaisijalle sijoitettava koealalinja (kuva 2). Kun puustokuvion raja eli linjan alkupiste on paikannettu esim. GPS-laitteella, ensimmäinen ympyräkoeala sijoitetaan linjalle koealahal-

kaisijan päähän alkupisteestä. Koealojen etäisyys toisistaan on koealahkaisija + 1–2 m lisäväli. Valittu koealaväli on pidettävä samana puustokuvion kaikilla koealoilla, kaikkien koealojen on sijoitettava puustokuvion rajojen sisäpuolelle, eivätkä koealat saa mennä päällekkäin. Ohjeen mukainen tavoite on noin 10 koealaa per puustokuvio, joten ainakin pienillä puustokuvioilla ja/tai suurta koealasädettä käytettäessä koealoja joudutaan sijoittamaan myös koealalinjan kanssa ristiin (kohtisuorassa leikkaavalle linjalle/linjoille). (UPM Metsä 2010.)



KUVA 2. Periaatekuva koealojen sijoittamisesta puustokuvion sisällä.

Koealalla olevista pystypuista määritettiin puulaji (mänty, kuusi, lehtipuu) ja rinnan- korkeusläpimitta 1 mm tarkkuudella. Lisäksi mitattiin pituus 10 cm tarkkuudella joka seitsemännestä lukupuusta puulajeittain koko puustokuvion juoksevasti laskien, siis ei koealoittain. (UPM Metsä 2010.) Pituuskoepuiksi valikoituvat siis esim. puustokuvion x männyt nro 1, 8, 15 jne. riippumatta siitä, millä koealalla ne olivat. Lisäksi mitattiin kolmella koealalla puiden etäisyydet koealan keskipisteestä, jotta oli mahdollista analysoida suurinta tarvittavaa koealakokoa. Maastotyössä käytetyt mittalaitteet ja apuvälineet on lueteltu taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Käytetyt mitta- ym. laitteet.

käyttötarkoitus	laite
suunta	kompassi
koealaväli	lankamittalaite
läpimitta, tietojen tallennus	Masser Excaliper -mittasakset
pituus	Haglöf Vertex Laser 1.3 -pituusmittalaite
koealasäde	Haglöf Forestor DME -ultraäänietäisyysmittalaite
paikannus	Garmin Colorado 300 -GPS-laite

Merkittävä kustannustehokkuuden tekijä on ajanmenekki. Alustavan suunnitelman mukaan tässä työssä oli tarkoitus kirjata ylös jokaisen koealan mittaamiseen kulunut aika. Maastotöiden siirryttyä sydäntalveen päätin kuitenkin luopua ajan mittaamisesta, koska lumen hidastava vaikutus olisi todennäköisesti vääristänyt tuloksia. Samasta syystä en myöskään merkinnyt koealojen keskipisteitä kepeillä, vaikka näin suositellaan UPM:n ohjeessa; koealojen paikantaminen jälkikäteen voi olla tarpeen esim. kaupankäynnin yhteydessä (Kärkkäinen 2010). Tällaisesta menettelystä huolimatta on mahdollista tehdä suuntaa antavia päätelmiä maastotyön ajankulusta, ja jatkossa sitä voidaan tarvittaessa tarkastella lähemmin.

Tärkeimpiä tekijöitä mittausmenetelmän kustannustehokkuuden kannalta ovat maastossa mitattavien koealojen koko ja määrä. Näiden tulisi olla riittävät takaamaan mitaustulosten riittävä luotettavuus, mutta toisaalta ei tarpeettoman suuret, jotta kustannukset pysyvät kurissa. Yleisesti tiedetään, että sekä koealamäärän että -koon suurentaminen parantaa puustotunnusten arvioinnin luotettavuutta, mutta lopullinen tasapaino määräytyy myös ajanmenekin ja puuston alueellisen jakautumisen perusteella (Laasasenaho ym. 1986, 5). Luotettavuuden muutos ei myöskään ole lineaarista. Tarpeellisenä mutta haastavana tavoitteena on siis selvittää, miten saadaan vähimmällä maastomittausmäärällä tilastollisesti riittävän luotettava tulos, ts. keskivirheen ja kustannusten suhde on hyväksyttävä (Auvinen 1997, 77–81).

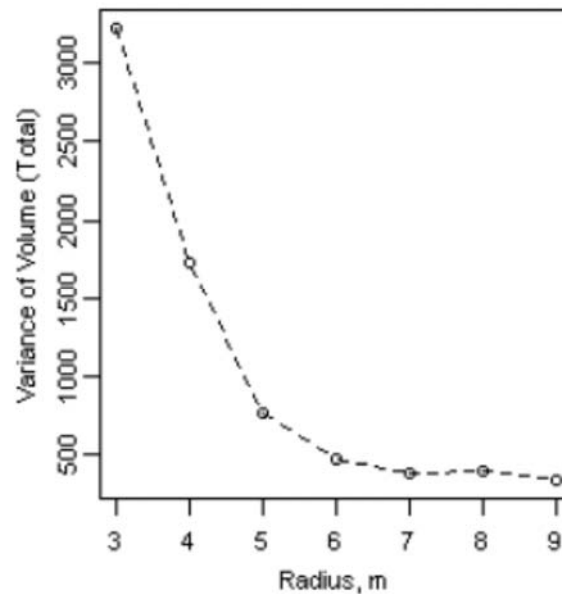
Kustannustehokkuutta ajatellen merkittävin testaus- ja kehittämiskohde on siis koealojen koon ja määrän suhteuttaminen tulosten riittävään luotettavuuteen. UPM:n mittausmenetelmässä koealasäde riippuu puuston tiheydestä, jolloin pyritään mittaamaan laskennallinen vähimmäismäärä pääpuulajin puita per puustokuvio (UPM Metsä 2010, 3). Taulukossa 6 on esitetty tässä työssä sovellettu puuston tiheysluokittelu, jonka perusteella maastossa käytettävä koealasäde määräytyi. Tavoitteena on, että puuston tiheydestä riippumatta saataisiin kerättyä suunnilleen sama määrä lukupuita puustokuvioita kohti, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia. Ongelmana on, että ennako-otannassa käytetyt runkolukutiedot ovat metsätaloussuunnitelmasta, joten ne eivät välttämättä päde kovinkaan hyvin yksittäisillä puustokuvioilla. Toisaalta kontrollimittauksen tulisi olla riippumaton kohteestaan eli tässä tapauksessa laserinventoinnista, joten runkolukutietoja ei ehkä ole syytä sitoa laserdataan – varsinkin

koska nekään eivät välttämättä pidä paikkaansa. Parhaassa tapauksessa maastossa olisi siis pyrittävä tarvittaessa korjaamaan tilanne todellisuutta vastaavaksi, eli muutettava sädettä jos puusto ei vastaakaan ennakkotietoja. Tässä työssä pidin kuitenkin kiinni ennakkotietojen mukaan määritellyistä koealasäteistä, vaikka muutamalla puustokuvilla ne osoittautuivat liian pieniksi. Nämäkin havainnot nimittäin ovat arvokasta tietoa, koska tämän työn tavoitteena on tehdä parannusehdotuksia tämänhetkiseen mittaushjeeseen.

TAULUKKO 6. Koealasäteen määräytyminen runkoluvun mukaan.

runkoluku, kpl/ha	koealasäde, m	koeala, m ²
-399	9,78	300
400-599	6,91	150
600-799	5,64	100
800-1199	4,89	75
1200-	3,99	50

Walleniuksen (2010) tutkimuksessa ei ole kiinnitetty huomiota yksittäisten puustokuvien runkolukuun, vaan optimaalinen koealakoko ja -määrä on laskettu aineistosta kokonaisuudessaan. Tutkimuksessa käytettiin yhdeksän metrin kiinteää koealasädettä ja koealaväli riippui puustokuvion pinta-alasta, tavoitteena suunnilleen sama määrä koealoja kuviota kohti. Hänen tuloksistaan päätellen puustokuvion kokonaistilavuus saadaan estimoitua noin 90 % luottamustasolla ja 10 % hajonnalla, kun mitataan yhdeksän kappaletta 6,91 m säteisiä ympyräkoaloja. Jos hyväksytään tarkkuuden ja luotettavuuden pieneneminen, myös koealamäärää tai -sädettä voidaan pienentää. Puulajikohtaiset vaadittavat koealamäärät ovat tosin huomattavasti suurempia, varsinkin kuusella ja lehtipuilla. Tässä vaiheessa voidaan kuitenkin pitää tärkeimpänä tavoitteena puustokuviokohtaisten kokonaistunnusten selvittämistä, vaikkakin laserkeilaus menetelmänä tarvitsee vielä parannuksia nimenomaan puulajikohtaisten tunnusten tulkinnan osalta. Eri metsäalueiden tuloksia ei voi suoraan vertailla keskenään, koska ne voivat poiketa toisistaan mm. kasvupaikkojen, ikäluokkajakauman ja puulajisuhteiden osalta. Lisäksi on huomioitava myös mittaajien, mittaustapojen sekä otantamenetelmien erot kussakin inventoinnissa.



KUVIO 2. Puuston kokonaistilavuuden estimaatin varianssin muutos koealasäteen kasvaessa Walleniuksen (2010) mukaan.

Walleniuksen tuloksista ilmenee, että koealasäteen kasvattaminen yli seitsemän metrin ei enää merkittävästi pienennä mikrokuviokohtaisten mittaustulosten varianssia, ja kuusikin metriä voisi olla vielä riittävä säde hyväksyttävän tarkkuuden saavuttamiseksi (kuvio 2). Tällä perusteella voisi siis suoralta kädeltä hylätä UPM:n mittausohjeessa olevan suurimman säteen 9,78 m ja korvata sen seuraavaksi pisimmällä säteellä 6,91 m. Siten voitaisiin nimittäin merkittävästi nopeuttaa maastomittausten suorittamista. Varmuuden vuoksi päätin kuitenkin toistaa Walleniuksen kokeen määrättyiltä osin siten, että mittasin kolmelta 9,78 m koealasäteen puustokuvioilta kaikkien lukupuiden etäisyydet koealan keskipisteestä. Näin oli mahdollista laskentavaiheessa testata, onko 6,91 m säde riittävä vai tarvitaanko tarkistusmittauksessa vielä isompia koealoja (Lehtinen 2010b). Maastotyötä helpottaakseni noudatin kuitenkin Walleniuksen tuloksia korvaamalla valtaosan 9,78 m koealasäteistä 6,91 m säteillä.

Koivuniemi (2003) tarjoaa hyödyllisiä pohjatietoja sen pohtimiseksi, paljonko maastomittauksia tarvitaan riittävän luotettavuuden saavuttamiseksi. Tutkimusasetelma ei tosin ole samanlainen, koska Koivuniemi tutkii pääasiassa puustokuvioita laajempien yksiköiden kuvioittaisen arvioinnin tarkkuutta. Laseraineiston tarkistusmittauksessa taas voidaan lähteä siitä oletuksesta, että maastomittausta edeltävää luotettavaa ennakkotietoa on enemmän kuin kuvioittaisessa arvioinnissa yleensä – edellyttäen,

että laserdatan tulkinta on valmistunut ennen kontrollimitausta. Mikro- eli puustokuvioiden (oletettu) homogeenisuus ja pienehkö pinta-ala siis ratkaisevat jo valmiiksi ne ongelmat, jotka liittyvät kuvioiden rajaamiseen perinteisessä metsäsunnittelussa. Puustokuviot voidaan ajatella metsikkökuvioiden ositteiksi (Koivuniemi 2003, 126–128). Puustokuviot ovat pienialaisia (usein alle 1 ha) sekä puustonsa pituudelta, tiheydeltä ja puulajisuhteilta yhtenäisiä metsiköitä tai metsikön osia (Wallenius 2010, 4, 29). Niiden rajaaminen perustuu suhteellisen tarkasti mitattuihin tietoihin, kun taas perinteisen metsätaloustalouden rajaaminen ilmakuvasta tulkittujen ja maastossa liikkuen on subjektiivisempi ja virheille alttiimpi toimenpide. Jos ja kun lasertulkinnan tuloksena syntyneitä puustokuvioiden rajausta pidetään luotettavana, koealojen sijoittelun ongelmat lienevät merkittävästi pienemmät verrattuna esim. Koivuniemen tutkimusasetelmaan kuvioittaisessa arvioinnissa. Puustotunnusten vaihtelu ja mahdolliset trendit ovat oletettavasti pienempiä puustokuvion sisällä kuin metsätaloustalouden sisällä, ja koealat siten lähtökohtaisesti edustavampia. On silti huomioitava, että myös laserkeilauksessa puustokuviot muodostetaan lopulta keskitunnusten perusteella, koska vaihtelua on aina (Wallenius 2010, 15, 30).

Koealan osuminen puustokuvion reunaan voi heikentää kuviokohtaisten mittausten luotettavuutta. Esimerkiksi Walleniuksen tutkimuksessa jouduttiin poistamaan reunavaikutusta ylimääräisillä mittauksilla (ns. mirage-menetelmä), koska systemaattisesta sijoittelusta johtuen kolmasosa koealoista sattui kuvion reunan kohdalle (Wallenius 2010, 12–13). UPM:n menetelmässä sitä vastoin ei synny tällaista reunavaikutuksen ongelmaa, koska koealat sijoitetaan kokonaan puustokuvion rajojen sisälle. Edellytyksenä tietysti on, että paikannus onnistuu riittävän tarkasti ja puustokuvioiden rajat on määritelty luotettavasti.

Myös koealojen sijoittelu oli Walleniuksella (2010) erilainen. Hän käytti systemaattista ympyräkoelaverkostoa, jossa koealaväli riippui mikrokuvion pinta-alasta. Kaikkiaan mitattaviksi valittiin 60 mikrokuviota, joille sijoitettiin yhteensä 483 kpl säteeltään yhdeksän metrin ympyräkoelaa. Yhdeltä mikrokuvioilta mitattiin keskimäärin kahdeksan koealaa vaihteluvälin ollessa 5–14 kpl. Koealat kattoivat mikrokuvion pinta-alasta 10–85 %, mikrokuvion koosta riippuen. Mittausten määrä oli siis samaa luokkaa oman työni kanssa, mutta Walleniuksen tutkima metsäalue oli huomattavasti suurempi, noin 50 000 ha (vrt. Kotipalsta 1 160 ha). Alueiden koot huomioiden näyttää

siis ainakin teoriassa siltä, että UPM:n menetelmässä mittausten määrä on riittävä ja suhteellisen edustava.

Vertailua Walleniuksen (2010) kanssa helpottaa se, että varsinaiset maastomittaukset ja mittaustarkkuudet olivat molemmissa töissä samankaltaiset: puulaji, rinnankorkeusläpimitta (1 mm tarkkuus), pituus (10 cm tarkkuus) sekä osalla koealoista puun keskipisteen etäisyys koealan keskipisteestä. Walleniuksen ryhmä mittasi kaikki läpimitataan yli 5 cm puut. Omassakin työssäni rajaläpimitta oli 5 cm, paitsi taimikoissa, joissa kaikki vähintään noin metrin päässä toisistaan sijaitsevat puut mitattiin; 5 cm rajaläpimittaa on käytetty yleisesti muissakin yhteyksissä (Kevätlaser 2009; Miettinen 2009; Ärölä 2008). Taimikot ovat ongelmallisia kohteita laserkeilauksessa, mutta siksi onkin tärkeää hankkia vertailuaineistoa tulkintamenetelmien kehittämiseksi. Alle 1,5 metrin taimikoita (T1) en mitannut, koska niistä ei laserkeilauksella saada vielä riittävän luotettavia puustotunnuksia (Laine 2010; Närhi ym. 2008; Ärölä 2008). Taimikoiden inventoinnin tilanne on kuitenkin kehittymässä, koska esimerkiksi metsäkeskusten käyttämä kohdennettu maastoinventointi kohdistuu juuri niihin ja pyrkii tarkistusmittauksin parantamaan myös laserkeilauksen luotettavuutta (Metsäkeskus 2010).

2.2.3 Tietojen käsittely ja laskenta

Maastossa kaikki mittaustiedot syötettiin Masser-mittasaksiin, sijaintitietoja myös käsi-GPS-laitteeseen. Mittasaksista tiedot kerättiin Excel-taulukkoon, josta niitä siirrettiin tarvittaessa käsittelyyn muilla ohjelmilla. Kaikki tässä työssä hyödynnetyt tietokoneohjelmistot on listattu taulukossa 7. Tätä inventointimenetelmää varten oli laadittava tietojenkeruuohjelma mittasaksille Masser Developer -ohjelmalla, koska sellaista ei ollut valmiiksi olemassa (liite 1).

TAULUKKO 7. Käytetyt tietokoneohjelmistot.

käyttötarkoitus	ohjelmisto
otanta, laskenta, tiedonsiirto ja -hallinta	Microsoft Excel 2010
otanta, paikannus, tiedonsiirto ja -hallinta	MapInfo Professional 9.0.2
tiedonkeruun suunnittelu	Masser Developer 2.1

laskenta	ForestCalc Standard 4.4.0 F
laskenta, tiedonsiirto	Microsoft Access 2010
otanta, laskenta	SPSS (PASW Statistics 18.0.2)
tiedonsiirto	EasyGPS 4.18
tiedonsiirto	GPS Utility 5.08
tiedonsiirto	Quantum GIS 1.5.0 (apuna)
otanta	TForest 6.40.0.6 (apuna)

Käytettyjen ohjelmistojen moninaisuus johtuu siitä, että kaikkea tarvittavaa tietoa ei ollut saatavilla yhtenäisessä muodossa, eikä kaikkia tarvittavia laskutoimituksia tai muita operaatioita voinut kätevästi suorittaa yhdellä tai muutamalla sovelluksella. Tällaisenaan ohjelmistojen määrä on hieman liian suuri, etenkin jos tietoja joutuu korjailemaan tai muuttelemaan käsin esim. tiedostomuodon muunnoksen toimiessa puutteellisesti. Tiedonsiirto ohjelmistojen välillä käsin muokkaamisesta puhumattakaan voi lisätä virheiden mahdollisuuksia lopputuloksessa. Tämä on tietysti tuttu ja yleinen ongelma, mutta huolellisen ennakkosuunnittelun merkitys korostuu tässäkin asiassa. Tilanne paranee, jos maastokontrollin toteuttavalla organisaatiolla on käytössään keskitetty tietojärjestelmä, jossa puustotietojen käsittely ja siirtäminen onnistuu mutkattomasti.

Tarvittavat puustotunnukset laskettiin Excel- ja ForestCalc-ohjelmilla. Jälkimmäinen nopeuttaa koealatulosten yleistämistä hehtaarikohtaisiksi ja sisältää valmiiksi tarvittavat matemaattiset mallit johdettavien tunnusten laskemiseen, joten päädyin käyttämään sitä.

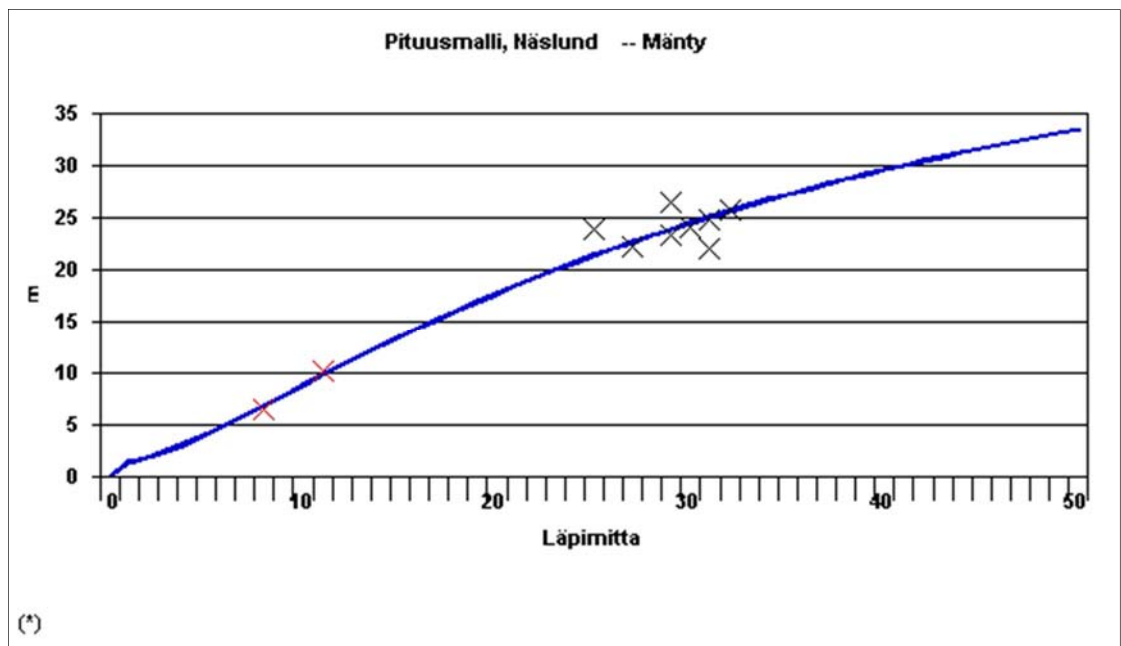
Lukupuille laskettiin pituudet koepuumittausten perusteella kalibroidulla Näslundin pituusmallilla (kaava 1). Parametrit a ja b määritetään koepuuaineistosta lineaarisella regressiolla, joten mallista käytetään linearisoitua muotoa (kaava 2). (Auvinen 1997.)

$$h = 1,3 + \frac{d^2}{(a + bd)^2} \quad (1)$$

$$a + bd = \frac{d}{\sqrt{h-1,3}} \quad (2)$$

h = puun pituusarvio (m)
 d = puun rinnankorkeusläpimitta (cm)
 a = koepuiden perusteella määritettävä parametri (käyrän käännepeiste)
 b = koepuiden perusteella määritettävä parametri (asymptoottinen maksimiarvo, jota käyrä lähestyy)

Jotta parametrit saadaan määritettyä, pituustieto tarvitaan vähintään kolmesta koepuusta. Koska pituusmalli määritetään puulajeittain, kolmen koepuun vähimmäisvaatimus ei välttämättä täyty muilla kuin pääpuulajilla, jos puustokuvioilla on hyvin vähän vähemmistöpuulajeja. Tällöin ForestCalc käyttää tarvittaessa muiden puulajien koepuutietoja mallin ratkaisemiseen, mutta määrittää ns. korjauskertoimen vain kyseisen puulajin koepuutietojen avulla (Vesa 2009). Korjauskertoimella pyritään poistamaan harhaa, joka mallia käytettäessä aiheutuu etenkin hyvin pienille tai hyvin suurille puille (Kangas ym. 2003). Mitä enemmän mitataan pituuskoepuita, sitä tarkempi pituusmalli saadaan (kuvio 3). Näslundin malli hieman yliarvioi pienten puiden pituutta, suuria puita taas aliarvioi (Auvinen 1997).



KUVIO 3. Esimerkki Näslundin mallilla laaditusta pituuskäyrästä eräällä puustokuvioilla.

Näslundin pituusmalli soveltuu käytettäväksi vain samanlaisissa olosuhteissa kasvanneille puille, koska siinä ei huomioida kasvupaikkatekijöitä (Kangas ym. 2003). Tämä ehto täyttyy, koska puustokuviot ovat pienialaisia ja homogeenisia. Tarkempia estimaatteja voitaisiin saada huomioimalla kasvupaikkojen erot yksityiskohtaisemmin,

kuten esim. Veltheimin pituusmallissa (Kangas ym. 2003). Yksityiskohtaisempi regressiomalli voisi tulla kyseeseen silloin, jos kontrollimittauksen kohteena on tätä työtä suurempi määrä puustokuvioita, jotka voidaan tällöin osittaa myös kasvupaikan suhteen.

ForestCalc laskee lukupuiden tilavuuden läpimitta- ja pituustietojen avulla käyttäen Laasasenahon kahden muuttujan tilavuusyhtälöitä, joiden keskivirhe on noin 8 % (Ärölä 2008). Tosin helppo ja nopea, alustavaan arviointiin sopiva laskutapa olisi esim. peruskaava: pohjapinta-ala x pituus x 0,5. Tällä tavalla ei kuitenkaan päästä riittävään tarkkuuteen, vaan mallien käyttö on suositeltavaa. Lopuksi ohjelma yleistää koealakohtaiset tulokset hehtaarikohtaisiksi, ja ilmoittaa sekä puulajikohtaiset että kokonaistulokset puustokuvion runkoluvusta, läpimittajakaumasta, keskiläpimitasta (pohjapinta-alalla painotettu), keskipituudesta, valtapituudesta, pohjapinta-alasta sekä tilavuudesta. Keskiläpimitasta ja -pituudesta saadaan myös vaihteluväli, mediaani ja keskihajonta, jotka ovat tarpeen tulosten tilastollisessa tarkastelussa. Runkoluvusta ja tilavuudesta tilastolliset tunnusluvut oli sen sijaan laskettava itse Excelin avulla. Myös pohjapinta-ala eli puun poikkileikkauspinta-ala rinnankorkeudella on tarvittaessa helppoa laskea käsin läpimittatiedon (d) avulla:

$$\frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

Tavoitteena on selvittää, miten luotettavasti puustotunnukset saadaan arvioitua UPM:n maastokontrollimenetelmällä. Siksi pyrin määrittämään tärkeänä tunnuslukuna kunkin puustotunnuksen keskiarvon keskivirheen eli tässä tapauksessa otantavirheen. Laskentatavan helppouden vuoksi käytän yksinkertaisen rajoittamattoman satunnaisotannan keskivirhekaavaa, jossa huomioidaan otantasuhde (Koivuniemi 2003, 48; Korpela; Ranta ym. 1999, 91):

$$S_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \times \sqrt{1 - \frac{a}{A}} \quad (4)$$

$S_{\bar{x}}$ = keskiarvon keskivirhe (otantavirhe)
 s = otoksen keskihajonta
 n = otoskoko (koealojen lukumäärä)
 a = koealojen yhteenlaskettu pinta-ala

A = puustokuvion pinta-ala

Suhteellinen keskivirhe prosentteina keskiarvosta saadaan jakamalla absoluuttinen keskivirhe keskiarvolla:

$$S_{\bar{x}}(\%) = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \quad (5)$$

Keskiarvon keskivirheen avulla voidaan arvioida otannan luottamusväli, jolle mitattu keskiarvo asettuu tietyllä todennäköisyydellä, jos mittauksia toistetaan. Tästä voidaan päätellä, että mitattu arvo poikkeaa todellisesta arvosta keskivirheen verran tietyllä todennäköisyydellä. Jos esimerkiksi puustokuvion otannalla mitattu keskitilavuus on 100 m³/ha ja keskivirhe 5 m³/ha, todellinen keskitilavuus on 68 % todennäköisyydellä välillä 95–105 m³/ha. Jos luottamustaso nousee, samalla luottamusväli laajenee. Melko turvallista on puhua 95 % luottamustasosta, jolloin luottamusväli on $\bar{x} \pm 1,96S_{\bar{x}}$. Em. esimerkkitapauksessa todellinen keskitilavuus olisi siis 95 % todennäköisyydellä noin 90–110 m³/ha. Edelleen 99 % luottamustasolla luottamusväli on $\bar{x} \pm 2,58S_{\bar{x}}$ (noin 87–113 m³/ha). (Auvinen 1997; Tilastollinen päättely 2004.)

On tunnetusti epätarkkaa ja epätieteellistäkin soveltaa satunnaisotannan kaavoja systemaattisen otannan yhteydessä (Heikkinen 2006; Kangas 2006). Useimmiten tällainen menettely on kuitenkin turvallista siinä mielessä, että siten saadut keskivirheluvut ovat todennäköisesti hieman ”todellista” suurempia; systemaattisuus pääsääntöisesti parantaa luotettavuutta lukuun ottamatta sellaisia harvinaisia tapauksia, joissa populaation jaksoittainen vaihtelu jonkun mitattavan muuttujan suhteen sattuu täsmäämään otantavälin kanssa (Kangas ym. 2003, 183–184). Käytännön inventoinnissa tällainen soveltaminen on siis perusteltavissa, koska saadaan helpolla tavalla vähintään suuntaa antava arvio mittausten luotettavuudesta (Auvinen 1997, 80). Lisäksi on muistettava, että tässä työssä ei noudateta puhtaasti systemaattista otantaa, vaan mitattavat puustokuviot on valittu osin harkinnanvaraisesti otantakehyksen sisällä; koealojen sijoittelu puustokuvioiden sisällä sen sijaan on systemaattista.

3 TULOKSET

3.1 Puustotunnusten keskivirheet

3.1.1 Puustotunnusten keskivirheet koko aineistossa

Tässä alaluvussa esitetään puustotunnusten mittauksen keskivirheet koko aineistosta laskettuina (taulukko 8). Seuraavassa alaluvussa keskivirheet on eritelty ositteittain. Puustokuviokohtaiset tulokset ovat liitteessä 4. Keskivirheluvut ovat mitä todennäköisimmin yliarvioita, koska laskennassa on käytetty yksinkertaisen satunnaisotannan kaavoja (luku 2.2.3).

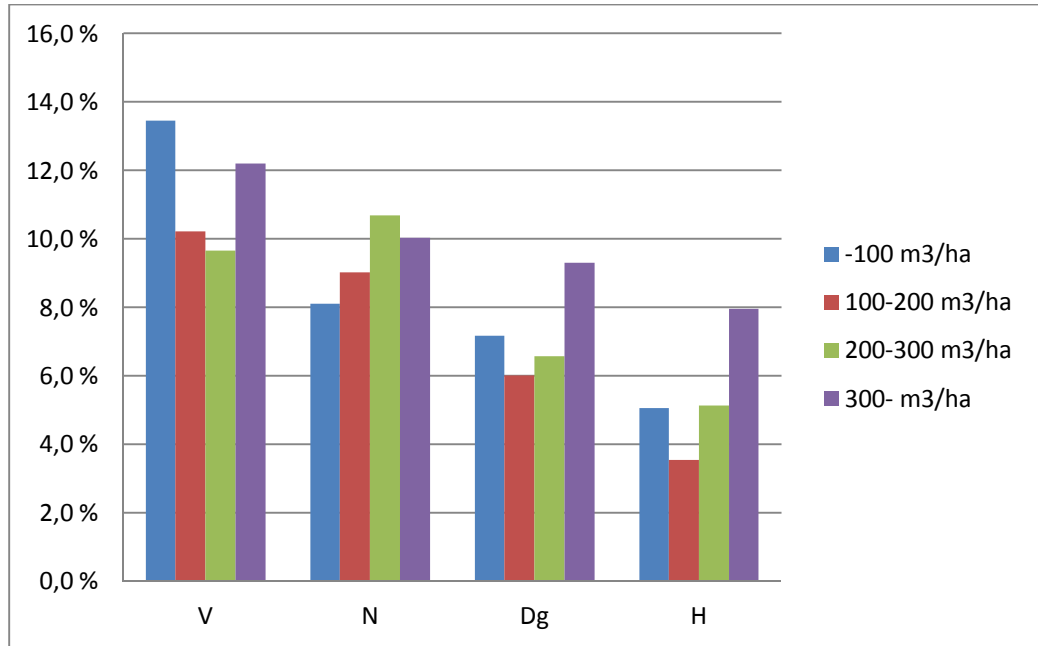
TAULUKKO 8. Keskiarvon keskivirhe (otantavirhe) prosentteina keskiarvoista, suluissa laskennassa mukana olleiden puustokuvioiden lukumäärä.

	tilavuus	keskiläpimitta	keskipituus	runkoluku
mänty	15,0 % (46)	4,7 % (46)	2,7 % (46)	15,9 % (46)
kuusi	25,2 % (28)	7,0 % (25)	5,7 % (25)	29,2 % (27)
lehtipuu	27,8 % (37)	7,0 % (34)	5,3 % (34)	37,1 % (36)
kaikki	10,8 % (47)	6,8 % (47)	4,9 % (47)	9,6 % (47)

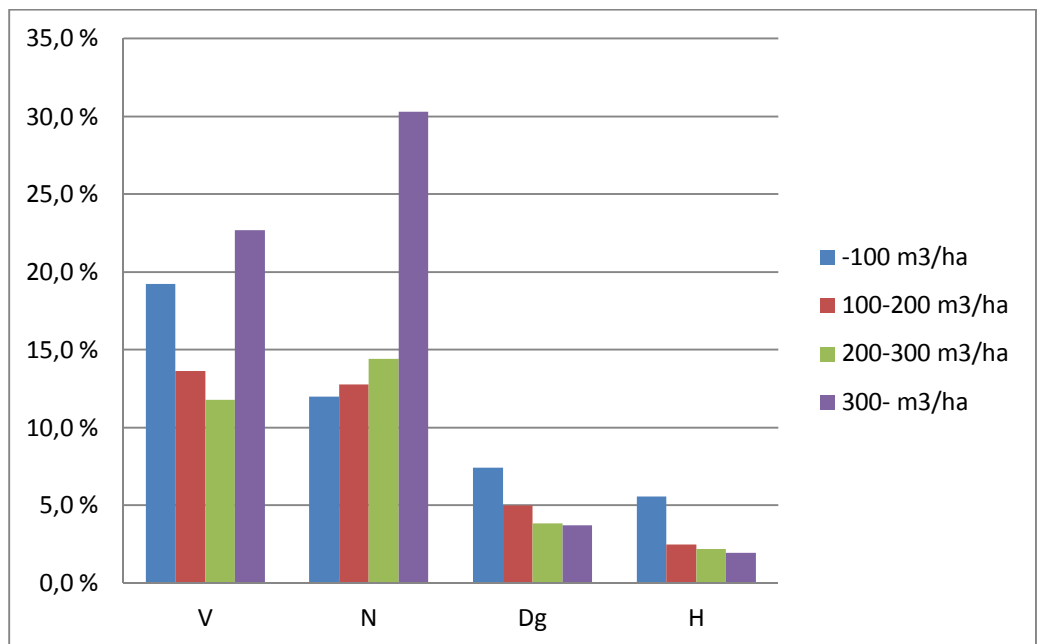
Keskivirheen laskennassa tarvittava keskihajonta on koealojen välinen keskihajonta kullakin puustokuvioilla. Sen vuoksi laskennassa mukana olevien puustokuvioiden määrä ei ole sama joka tunnuksen kohdalla, koska jonkun puulajin lukupuita ei välttämättä ollut tarpeeksi keskihajonnan laskemiseksi. Kuten edellä on todettu, Kotipalsta on mäntyvaltaista, joten kuusi ja lehtipuut ovat useammilla kuvioilla vähemmistöpuulajien asemassa. Näin ollen kuusen ja lehtipuiden puustotunnusten hajonta on yleensä suurempaa kuin männyllä keskimäärin, varsinkin koska eri latvuserrokset ovat lukupuiden joukossa tasavertaisina 5 cm rajaläpimitasta huolimatta – alikasvos- ja välipuuthan ovat usein kuusia tai lehtipuita. Toisaalta rungon koko tulee huomioitua siinä, että keskiläpimitta on painotettu pohjapinta-alalla.

3.1.2 Puustotunnusten keskivirheet ositteittain

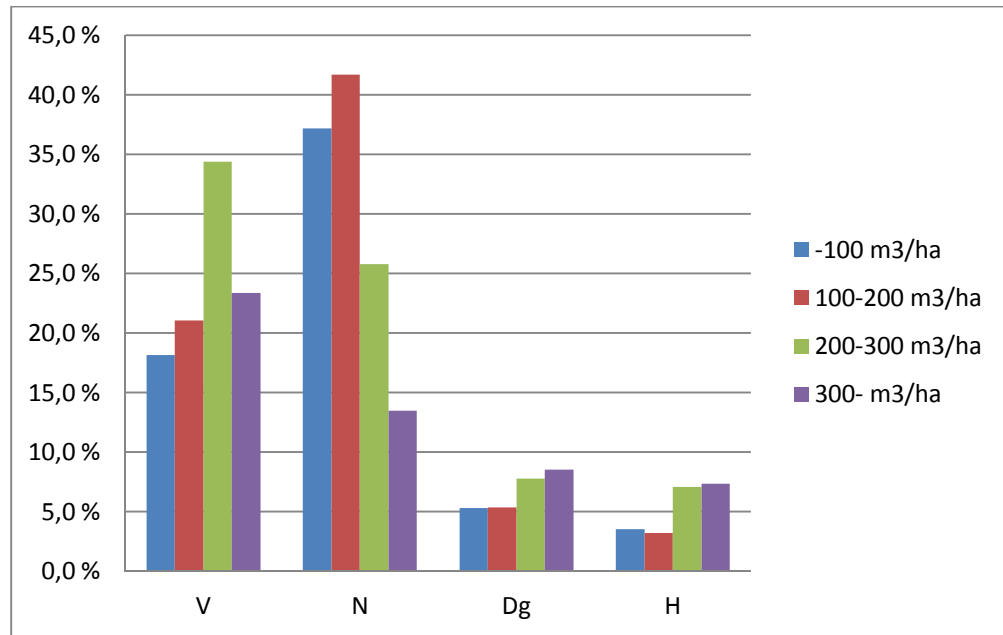
Seuraavissa kuvioissa on esitetty keskeisten puustotunnusten keskivirheet (otantavirheet) kullakin ositteella (kuviot 4–7). Keskivirheet on laskettu tilavuudelle, runkoluvulle, keskipituudelle sekä pohjapinta-alalla painotetulle keskiläpimitalle.



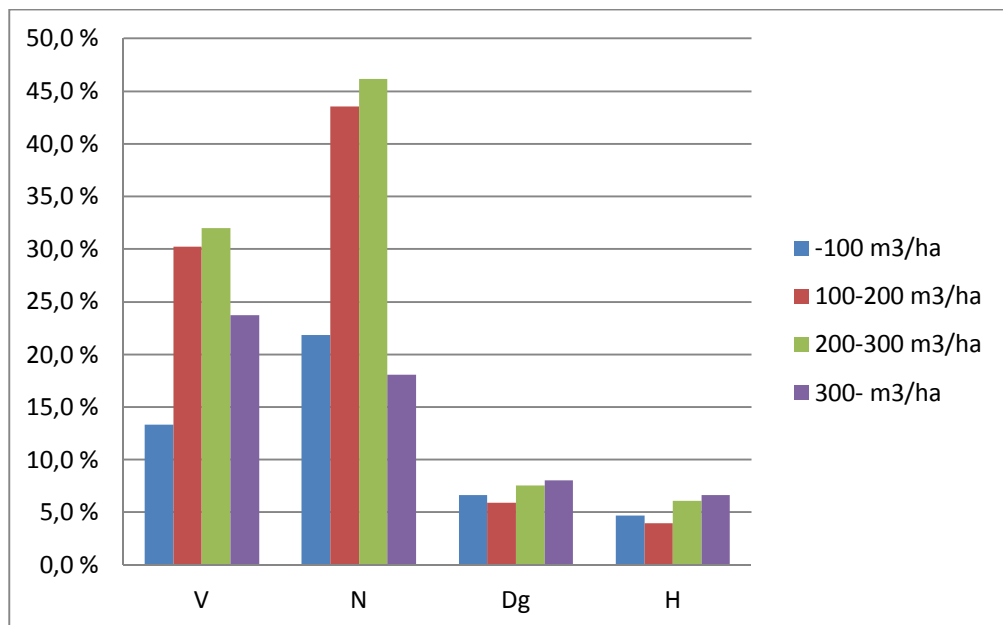
KUVIO 4. Kaikkien puulajien keskivirheet ositteittain.



KUVIO 5. Männyn keskivirheet ositteittain.



KUVIO 6. Kuusen keskivirheet ositteittain.



KUVIO 7. Lehtipuiden keskivirheet ositteittain.

3.2 Maastomittaus kokonaisuutena

3.2.1 Olosuhteet ja ajankäyttö

Kuten luvussa 2.1 todettiin, maastotyöpäiviä kertyi kaikkiaan 24. Kokonaisuksi työpäiviksi muutettuna tämä tarkoittaa kuitenkin noin 16 maastopäivää, mikä vastaa melko tarkasti työsuunnitelman arviota. Yhtä puustokuviota kohti kulunut aika vaihteli

karkeasti arvioiden 1,5–2 tunnin välillä, matkat mukaan lukien. Työtä hidasti pääsääntöisesti lumi sekä alkuvaiheessa myös valoisan ajan lyhyys (alle kuusi tuntia vuorokaudessa). Maastotöihin käytetty ajanjakso venyi loppupäästään osin myös kovien pakkasten takia, koska elektronisten mittavälineiden nestekidenäytöt alkavat jäähmettyä käytännössä lukukelvottomiksi noin -15 asteen alapuolella. Maastopäivien kokonaismäärää lisäsivät myös käynnit sellaisilla kuvioilla, joita ei voinutkaan mitata esim. laserkeilauksen jälkeen tehdyn hakkuun tai tapahtuneen myrskytuhon takia. Alkuvaiheessa sujuvan työrutiinin kehittyminen vei luonnollisesti oman aikansa, mutta subjektiivisesti arvioiden se tapahtui silti verraten nopeasti. Voi siis tehdä sen johtopäätöksen, että menetelmän maastotyöosuus on suhteellisen helposti toteutettavissa myös ensikertalaisen toimesta.

Jatkossa ajanmenekkiä on mahdollista selvittää tarkemminkin, mikäli tarvetta ilmenee esimerkiksi kontrollimäärien kasvaessa. Tämänkaltaisessa työssä ei liene järkevää ryhtyä yksittäisten mittaussuoritteiden sekuntitason mittaukseen, vaan esim. yhteen koealaan kuluneen ajan mittaaminen riittää (Kangas ym. 2002, 432). Kustannustehokkuuden esimerkinomaiseen laskemiseen voidaan tällöin soveltaa Leinon ym. (2006) esittämää menetelmää: kustannustehokkuusindeksi = mittaustuloksen luotettavuusprosentti jaettuna koealakohtaisella mittausajalla (Lappi 2006). Ajanmenekin mittauksella saadaan ennen kaikkea vertailumateriaalia myöhempiä inventointeja varten; yksittäiset mittaustuloksethan kertovat ainoastaan yhden mittajaan kuluttaman ajan. Jäljempänä tarkasteltavat optimaalinen koealakoko ja -määrä ovat ratkaisevia tekijöitä kustannustehokkuudessa, mutta huolellisella ennakkosuunnittelulla voi kompensoida maastotyön määrää lopputuloksen luotettavuuden kannalta.

Liikkumisen lisäksi lumi vaikeutti myös itse mittaamista; rinnankorkeuden määrittäminen on luonnollisesti hankalampaa hangen päältä. Tarkistin lumen syvyyden puustokuvioille saapuessani sekä välillä mittausten aikana, mutta jokaisen puun kohdalla siihen ei ollut aikaa. Systemaattisen mittausrvirheen vaara oli siis lumen takia suurempi kuin se olisi sulana aikana, mutta läpimitat on kohtuullisella varmuudella mitattu juuri rinnankorkeudelta. Kun mittausten määrä on suuri, satunnaiset virheet kumoavat toisiaan. Myös pituuden mittaamisessa rinnankorkeus oli tiedettävä ultraäänitransponderin asettamiseksi oikealla kohdalla. Käytin yksinomaan ultraäänimittausta, koska se toimi Vertex-pituusmittarin laserominaisuutta luotettavammin.

Sääolot on huomioitava, kun käytetään ultraääneen perustuvaa mittauksia – tässä tapauksessa etäisyysmittaria koealasäteiden määrittämiseksi sekä pituusmittaria koepuiden pituuden mittaamiseksi. Ilman lämpötila, kosteus ja paine vaikuttavat ääniaaltojen etenemisnopeuteen, joten laitteet on kalibroitava olosuhteiden muuttuessa (Kangas ym. 2003, 36.) Tein näin aina mittausten alkaessa, mutta helmi-maaliskuussa myös myöhemmin päivällä, koska auringon lämmittävä vaikutus tuntui jo selvästi. Pituuden mittauksessa kalibrointivirhe ei ole merkittävä, mutta koealasäteessä muutaman sentin muutos vaikuttaisi jo paljon.

Paksu lumihanki estää havaitsemasta edellisenä vuonna tehtyjä hakkuita tai taimikonhoitoja, ellei niistä ole tietoa etukäteen. Tässäkin työssä kontrollikuvioiden joukkoon päätyi puustoltaan laserkeilauksen jälkeen muuttuneita kohteita, vaikka tietoja toimenpiteistä olikin osittain käytössäni. Lumesta oli toisaalta se etu, että spray-maalilla hangen pintaan merkityt pituuskoepuut erottuivat helposti. Menettelin siten, että ensin perustin koealalinjan ja merkitsin koealapisteet kuitunauhalla, sitten mittasin läpimitat ja merkkasin pituuskoepuut, joista lopuksi mittasin pituudet. Koealan sisällä kiersin myötäpäivään aloittaen kulkusuuntaan (linjaan) nähden ensimmäisestä puusta oikealle.

3.2.2 Lukupuiden mittaus

Lukupuumittausten suorittaminen käytännössä oli yksinkertaista ja pääsääntöisesti sujuvaa, jos vuodenajan vaikutus jätetään huomioimatta. Tiheässä sekapuustossa mitaaminen oli luonnollisesti työläämpää, koska Masser-saksien ohjelmoitavuuden rajoitteiden takia puulajin vaihto vaati useita näppäilyjä. Pituuskoepuut oli valittava itse juoksevaa puunumerointia seuraten, koska puulajikohtaista otantarutiinia ei voinut ohjelmoida saksiiin (Sironen 2010). Masser Developer -ohjelmassa olisi siis kehittämisen varaa ainakin tässä suhteessa, jotta virheiden todennäköisyyttä maastomittauksessa saataisiin pienennettyä.

Mittasin kokeilutarkoituksessa läpimitat ristimitana, siis kaksi rinnankorkeusläpimittaa 90 asteen kulmassa jokaisesta lukuapuusta, ja käytin laskennassa näiden keskiarvoa. Tämä ei ole yleinen käytäntö koealamittauksissa, joten halusin selvittää ristimitauksen mahdollista vaikutusta tulosten tarkkuuteen. Ristimitaus ei käytännössä lisännyt ajanmenekkiä juuri lainkaan, joten asia oli ainakin kokeilemisen arvoinen. Kaikista

lukupuista laskettuna ristikkäiset läpimitat poikkesivat toisistaan keskimäärin 3 % (vaihteluväli 0–77 %, mediaani 2,2 %). Mediaanin pienuudesta voi päätellä, että vaihteluvälin suurimmat arvot selittyvät luultavasti tallennusvirheillä ja yksittäisillä huomattavan epäpyöreillä lukupuilla. Poikkeama ei ole kovin suuri: esimerkiksi 20 senttimetristä 3 % on 6 mm eli käytännössä tämä tarkoittaisi, että mitataan ristimitana 19,7 cm ja 20,3 cm, jolloin läpimitaksi saadaan 20 cm. Taulukossa 9 on esimerkki ristimitan vaikutuksesta puustotunnuksiin yhdellä runsaspuustoisella ja yhdellä taimikkokuviolla. Tunnukset on ilmoitettu sekä yksittäisten läpimittojen (lpm 1, lpm 2) sekä ristimitakeskiarvon (lpm ka) perusteella laskettuina. Tuloksista nähdään, että puustokuvion tasolla on käytännössä merkityksetöntä, mitataanko yksi vai kaksi läpimitatuloa per lukupuu, vaikka yksittäisen puun laskennassa tilanne olisikin toinen. Yhden läpimitan mittaaminen tavalliseen tapaan siis riittää tarkkuuden kannalta, vaikka ristimitaus ei ajanmenekkiä juuri lisääkään. Laajassa aineistossa epäpyöreyydestä tms. johtuvat poikkeamat eivät ole merkitseviä.

TAULUKKO 9. Puustotunnusten riippuvuus läpimittausten lukumäärästä kahdella puustokuviolla (yksi läpimita vs. ristimita).

puustokuvio	mittaus	keskilpm, cm	ppa, m ² /ha	tilavuus, m ³ /ha
264	lpm 1	26,2	39,8	431,9
	lpm 2	26,2	39,4	425,9
	lpm ka	26,2	39,7	429,6
314	lpm 1	8,7	8,0	28,6
	lpm 2	8,7	8,0	29,0
	lpm ka	8,7	8,0	29,0

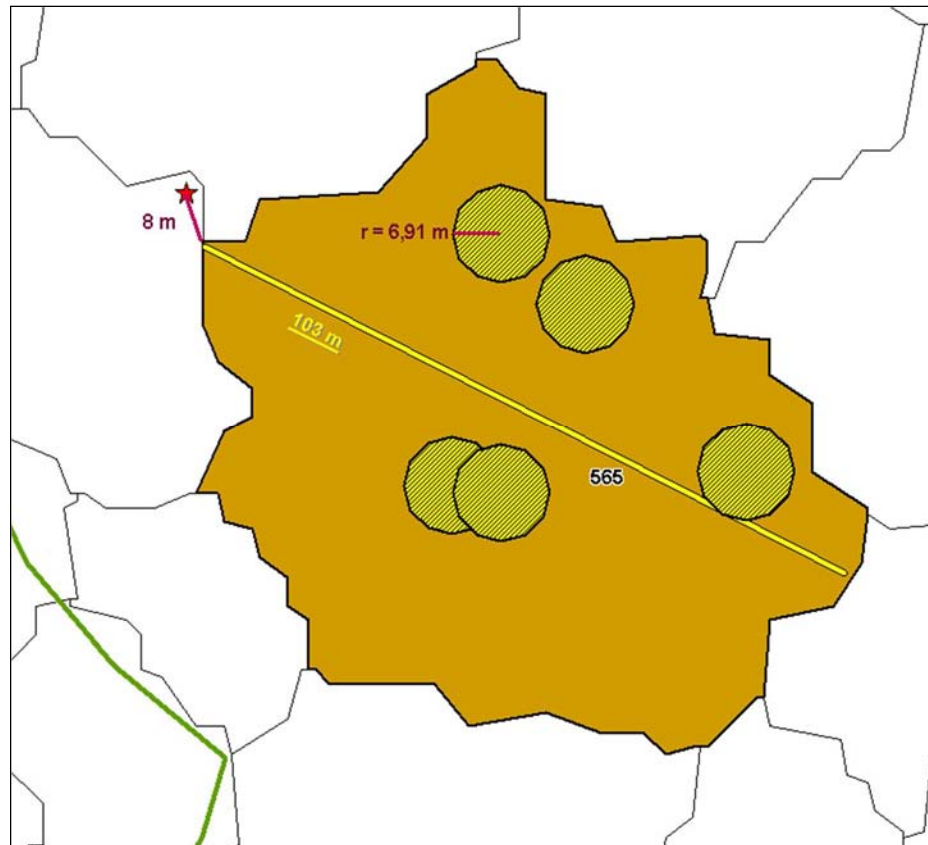
Yhdellä taimikkokuviolla (T2, puustokuvio 288) kokeilin vertailun vuoksi suppeampaa mittaustapaa, jossa mittasin kaikilta ympyräkoaloilta runkoluvun, mutta läpimitan ja pituuden vain yhdestä puusta puulajeittain kultakin koéalalta. Syötin koepuiden tiedot laskentaan siten, että ne olisi mitattu vain yhdeltä koéalalta; runkoluku oli riittävän lähellä kaikkien koalojen keskiarvoa, joten tällainen menettely oli mahdollista. Kyseinen puustokuvio ei tosin kelpaisi validointiin, koska siellä oli tehty taimikonhoito laserkeilauksen jälkeen. Itse maastomittaus kuitenkin onnistui taimikossa näinkin, sillä keskivirheet eivät poikkea huomattavasti muusta aineistosta: runkoluku 6,5 %, läpimita 9,1 %, pituus 4,6 %, tilavuus 18,7 %. Tilavuuden keskivirhe on suurehko,

mutta toisaalta sillä ei ole taimikossa suurta merkitystä. Jos pienikokoisia taimikoita sisällytetään kontrollikuvioiden joukkoon useita, tällä mittaustavalla voidaan säästää aikaa, mutta saadaan silti vertailuaineistoa myös taimikoista laserinventoinnin täsmen-
tämiseksi.

3.2.3 Paikannus

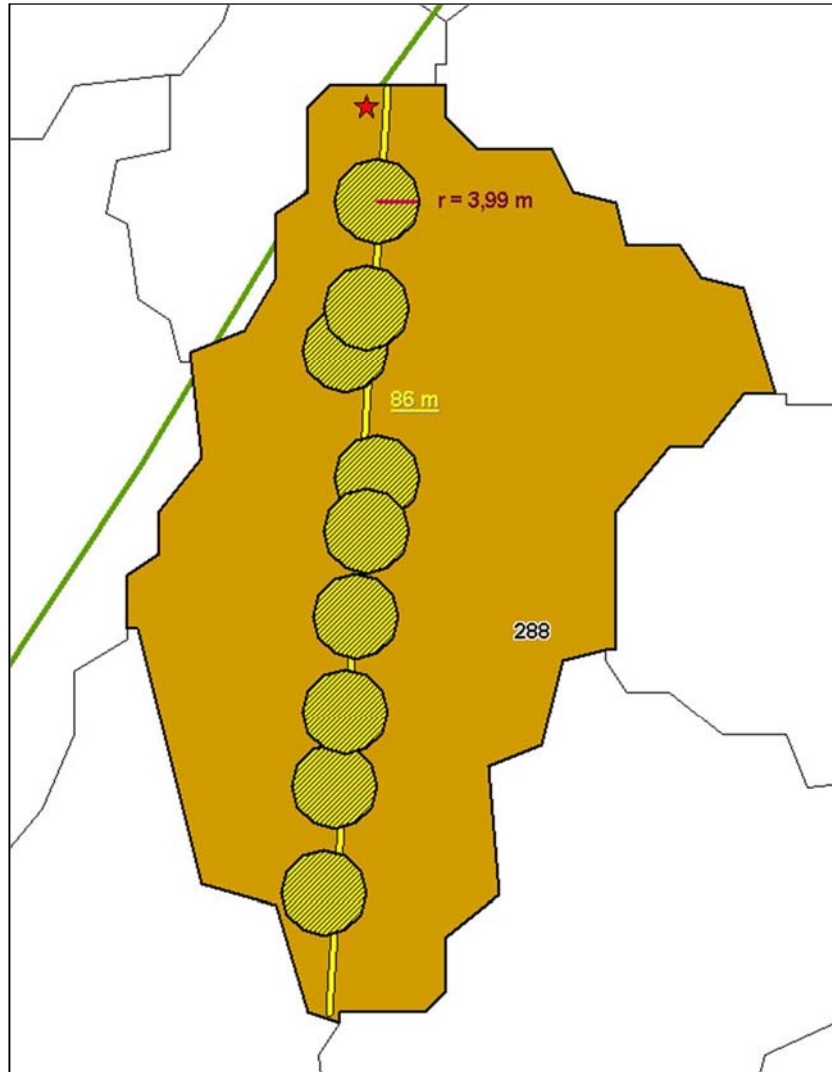
Kontrollikuvioiden paikantaminen onnistui kätevästi GPS-laitteella, joskin sen tarkkuus on vain noin ≤ 10 m (95 % luottamustasolla). Ensimmäinen koeala sijoitetaan halkaisijansa etäisyydelle puustokuvion reunasta, mikä parantaa todennäköisyyttä, että koealat osuvat puustokuvion sisälle. Määritin koealalinjojen sijainnit ja suunnat etukäteen paikkatieto-ohjelmalla ja tein kokonaiskorjauksen (8°), ja näin saadut koealalinjojen päätepisteet tallensin GPS-laitteelle. Maastossa pidin suunnan yllä kompassin avulla ja mittasin koealavälit lankamittalaitteella. Tallensin GPS-laitteella koealalinjan maastossa löydetyn alkupisteen sekä viimeisen sille sijoitetun koealan sijainnin. Lisäksi tallensin osan päälinjan viereen sijoitetuista koealoista, jotta koealojen sijaintitarkkuutta voitaisiin tarkastella jälkeinpäin. Vain yhdellä puustokuvioilla linjan suunta maastossa poikkesi merkittävästi aiotusta, ilmeisesti asteluvun näppäilyvirheen takia.

Kuvassa 3 on havainnollistettu GPS-laitteella tallennettuja sijaintipisteitä. Keltainen viiva on pääkoealalinja (pituus 103 m), jolla sijaitsevat koealat 1–6 (säde 6,91 m), punainen piste on GPS-laitteella tallennettu alkupiste (etäisyys ”todellisesta” alkupisteestä 8 m), linjan ulkopuolella taas ovat koealat 7–10 (kaksi linjan kummallakin puolella). Vasemmassa alakulmassa näkyy metsätalouskuvion raja vihreällä, mustat viivat puolestaan ovat puustokuviorajoja. Kyseessä on 0,59 ha kokoinen puustokuvio, joten sijoittelussa oli pelivaraa GPS-tarkkuudenkin huomioiden. Kuvassa kaksi koealaa näyttää menevän päällekkäin, mutta näin ei todellisuudessa ollut, koska koealaväli on mitattu maastossa oikein; tallennettujen pisteiden päällekkäisyys kuvassa on oiva esimerkki GPS-laitteen rajallisesta tarkkuudesta. Mittausrutiini oli yksinkertaisimmillaan silloin, kun kaikki koealat mahtuivat päälinjalle (kuva 4).



KUVA 3. Esimerkki koealojen sijoittumisesta GPS-laitteen mittaustarkkuudella.

Käytännön työssä ongelmana oli, ettei puustokuvioiden rajoista ollut maastossa tietoa. Puustokuvioaineiston siirtäminen Psion-maastotallentimeen ei onnistunut, eikä paperikarttojen kantaminen mukana mittavälineiden lisäksi tuntunut käytännölliseltä. Kontrollimittauksen aikana kävi kuitenkin selväksi, että tieto rajoista olisi hyvä olla jossain muodossa mittaajalla myös maastossa. Tällöin koealoja voidaan mitata tarvittaessa ennakoita aiottua enemmän, mikäli esim. lukupuiden määrä ei muuten tunnu riittävältä. Päälinjan vierestä mittaaminen edellyttää usein tietoa kuvion ulottuvuuksista, jotta pysytään kontrollikuvion sisällä. Tässä työssä parilla puustokuvioilla kävi nimittäin niin, että yksittäinen lisäkoeala tuli mitattua rajan väärältä puolelta. Kokonaistulokseen tällä ei ole suurta vaikutusta, mutta puustokuviokohtaisesti merkitys on suurempi. Paljain silmin on yleensä vaikeampaa erottaa toisistaan kahta puustokuvioita kuin kahta metsätalouskuvioita, joten ilman apuvälineitä ei käytännössä pärjää. Rajat olisi kätevintä nähdä suoraan maastotallentimelta, tai vaihtoehtoisesti voi tallentaa jo etukäteen linjan ulkopuolisten koealojen paikat GPS-laitteelle, jotta maastossa ei tarvitse enää miettiä rajan sijaintia. Koealaväli on tietysti itse mitattava maastossa luotettavasti, mutta GPS-laitteelta voisi tällöin tarkistaa, montako koealaa päälinjan ulkopuolelle tarvitaan ja mihin kohti linjaan nähden.



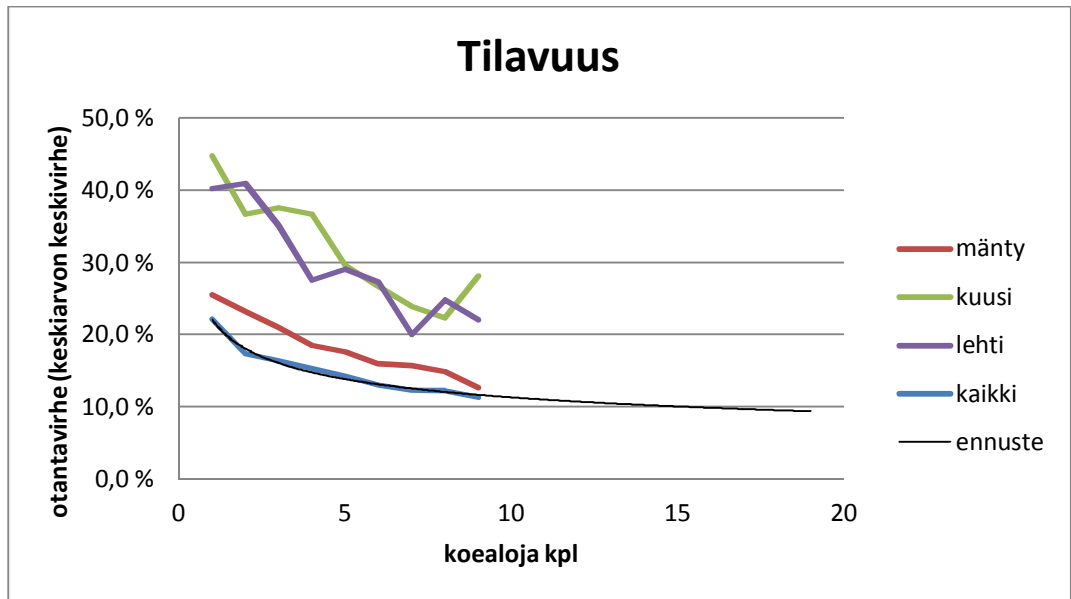
KUVA 4. Esimerkki koealojen sijoittumisesta GPS-laitteen mittaustarkkuudella.

GPS:n mittaustarkkuus huomioiden koealojen sijoittelu onnistui tässä työssä pääasias-
sa riittävän hyvin. Varminta olisi tietysti valita sellaisia kontrollikuvioita, jotka rajau-
tavat helposti tunnistettavaan maamerkkiin kuten ojaan tai tiehen. Tämä ei ole kuiten-
kaan käytännössä aina mahdollista, vaan on tyydyttävä myös epävarmempaan paikan-
nukseen. Lisäksi jos kaikki kontrollikuviot poimittaisiin tien tai vesistön vierestä, saat-
taisi tästä aiheutua pitkän ajan kuluessa tilastollista harhaa, koska puusto tällaisissa
kohdissa on yleensä erilaista kuin yhtenäisemmässä metsikössä. Paikannuksen var-
muus paranee, mitä isompi puustokuvio on kyseessä. Keskimääräistä suurempien
puustokuvioiden valitseminen on usein myös käytännön sanelema pakko, jotta koealo-
ja ylipäänsä mahtuu niille riittävästi.

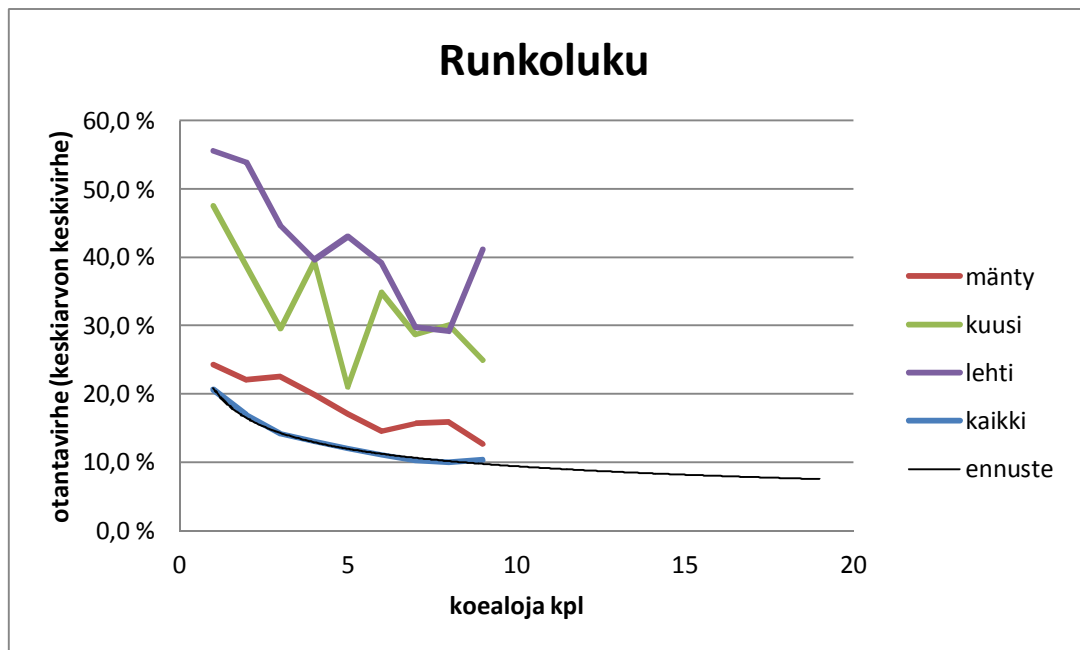
3.3 Koealasäde ja -koko

Maastomittauksessa käytettävät koealasäteet ja -määrät nousivat odotetusti merkittäväksi pohdinnan kohteeksi. Puustokuvioilta ei tarvitse välttämättä mitata aina samaa määrää lukupuita tiettyyn tarkkuuteen pääsemiseksi, vaan puuston koon ja sijainnin tasaisuus sekä puulajijakauma vaikuttavat paljon tarvittavien mittaustietojen määrään. Nämä tekijät vaihtelevat kuvioittain ja metsäalueittain, joten täsmällisiä lukumääriä on vaikea sanoa. Mittausmäärien tarkastelu on väistämättä yleistävää ja teoreettista, koska käytännössä metsiköt syntyvät usein ryhmittäisiksi ja epätasaisiksi, ja muuttuvat vasta metsänhoidon myötä homogeenisemmiksi (Pukkala 2007, 60–61, 156–157). Varminta lienee siis mitata mieluummin hieman liikaa kuin liian vähän, kunhan jonkinlaisella marginaalilla pystytään arvioimaan, ettei mitata huomattavasti liikaa kustannuksiin nähden.

Kuvioissa 8 ja 9 on esitetty tilavuus- ja runkolukuestimaatin keskivirheen muutos koealamäärän kasvaessa. Käyrät perustuvat koko aineistosta laskettuihin keskiarvoihin; kuusen ja lehtipuulajien lukupuiden mäntyä pienempi määrä on selvästi havaittavissa suurempana hajontana. Mukana ovat kaikkien puulajien yhteistulokseen perustuvat ennustekäyrät, joiden korrelaatiokertoimet ovat 0,985 (tilavuus) ja 0,986 (runkoluku), eli ennusteet ovat suhteellisen todennäköisiä. Ainakaan niiden perusteella koealoja ei kannattaisi mitata kovin paljon yli 10 kpl/kontrollikuvio, joka oli suurin koealamäärä tässä työssä – tosin koealakoon vaikutusta ei ole huomioitu näissä ennusteissa. Mutta koska optimaalinen mittausmäärä riippuu myös puuston ominaisuuksista, on varmempaa mitata arvioitua vähimmäismäärää enemmän.



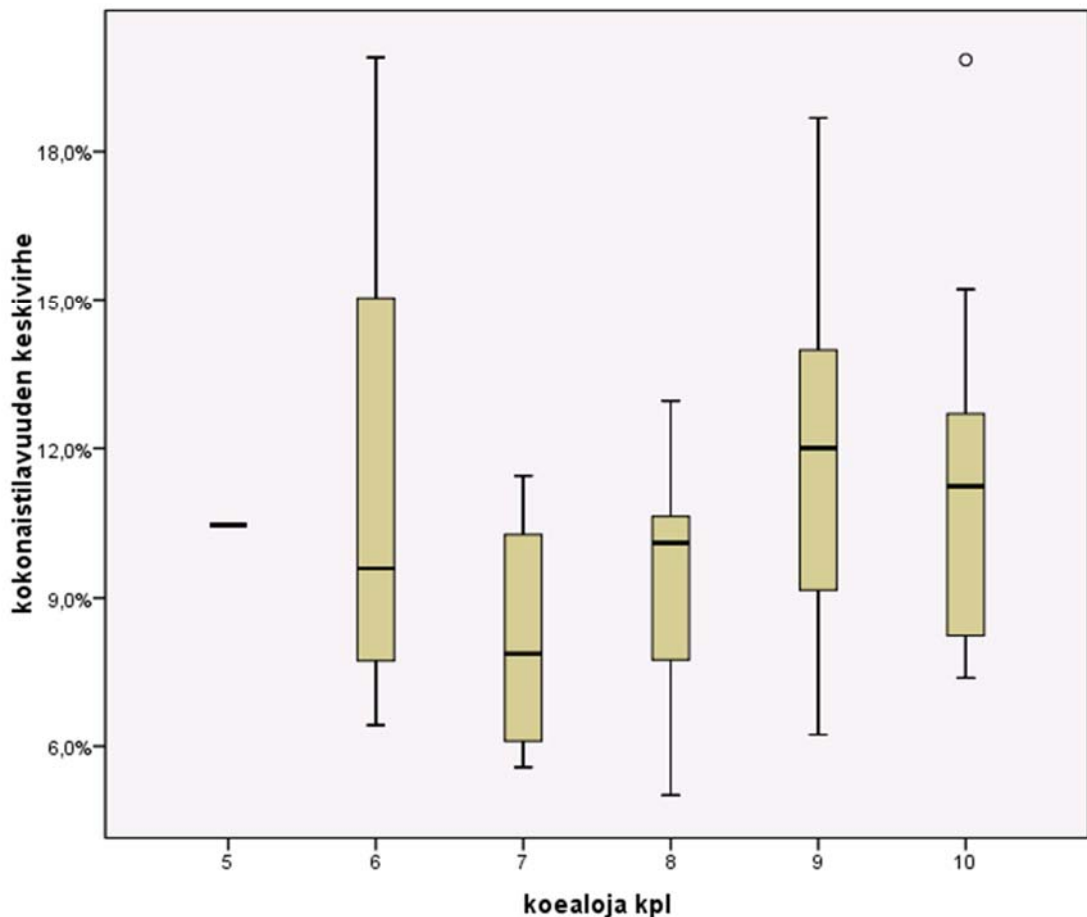
KUVIO 8. Koealamäärän vaikutus tilavuusestimaatin keskivirheeseen.



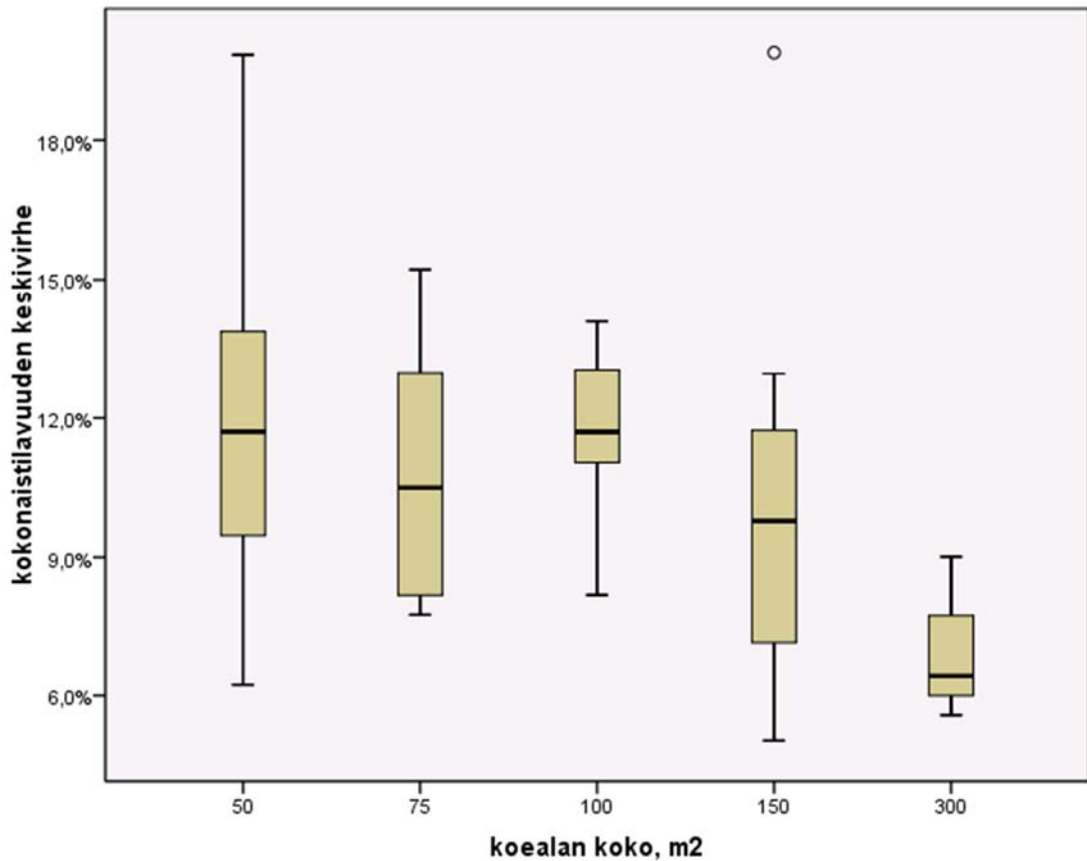
KUVIO 9. Koealamäärän vaikutus runkolukeestimaatin keskivirheeseen.

Jos koealamäärän vaikutusta kokonaistilavuuden keskivirheeseen tarkastellaan boxplot-kuvion avulla, hajonnat näyttävät melko suurilta (kuvio 10). Boxplot-kuviossa musta vaakaviiva laatikon sisällä on mediaani, laatikon ala- ja yläreunat puolestaan ala- ja yläkvartiilit. Kuviossa 11 puolestaan näkyy kokonaistilavuuden keskivirhe suhteessa koealakokoon. Trendi näyttää laskevalta selvemmin kuin koealamäärän suhteen, mutta jatkossa olisi hyvä kerätä lisää aineistoa erikokoisilla koealamittauksilla asian testaamiseksi. Keskivirheen riippuvuus koealakoosta on tällä havaintomäärällä

tilastollisesti melkein merkitsevä (osittaiskorrelaatio, koealamäärä vakioitu, $p = 0,022$ $r = -0,337$). Toisaalta epälineaarinen riippuvuus voi olla hyvinkin vahva, mikä ei välttämättä ilmene tavallisessa korrelaatiotestissä (Holopainen ym. 2004, 175). Pienikin muutos tulosten hajonnassa voisi tehdä korrelaation selvemmin näkyväksi. Esimerkiksi jos poistetaan keskivirheen ääriarvot, jotka saattavat johtua yksittäisten kontrollikuvioiden hankalista olosuhteista, trendi muuttuu todennäköisesti hieman selvemmäksi. Kuusen ja lehtipuiden osalta lisämittaukset todennäköisesti parantaisivat luotettavuutta, mutta tällöin jo kontrollikuvioita valittaessa on painotettava niiden osuutta pääpuulajeina, jotta mittauksia saadaan kertymään lisää. Pelkästään kontrollikuvion vähemmistöpuulajien mittauksia lisäämällä estimaatin luotettavuus ei parane riittävästi, koska hajonta ei yleensä pienene tarpeeksi.



KUVIO 10. Koalamäärän vaikutus tilavuusestimaatin keskivirheeseen.

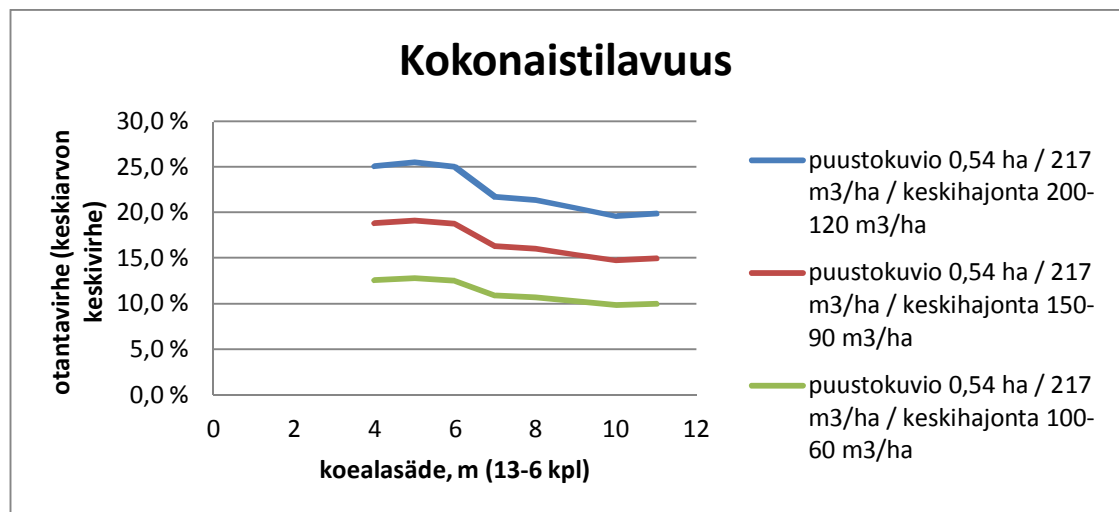


KUVIO 11. Koealakoon vaikutus tilavuusestimaatin keskivirheeseen.

Keskivirheen laskenta perustuu koealojen väliseen keskihajontaan, joka pienenee koealakokoa kasvattamalla (Laasasenaho ym. 1986, 5). Keskivirhe pienenee toisaalta suhteessa koealamäärän neliöjuureen, mikä ilmeni edellä kaavasta 4. Koealamäärällä on siis suurempi merkitys kustannusten kannalta silloin, kun mitataan systemaattista koealaverkostoa metsäalueen yli ja koealaväli voi muodostua suureksi (Auvinen 1997, 77). UPM:n tarkistusmittauksessa tällä taas ei ole niinkään merkitystä, koska koealat ovat vierekkäin. Sen sijaan tässä tapauksessa koealakoon kasvattamisella saattaa olla suurempi vaikutus keskivirheeseen, varsinkin epätasaisilla ja vähäpuustoisilla kuvioilla. Toisaalta kokonaistyömäärää kompensoi se, että järeissä metsiköissä samaan tarkkuuteen päästään yleensä vähemmällä mittauksilla kuin pienipuustoisilla kohteilla (Auvinen 1997, 81). Tässä työssä ongelmallisimpia olivat 4,89 ja 5,64 metrin säteet, joita käytettäessä maastossa tuntui olevan eniten vaikeuksia saada kerättyä riittävästi lukupuuta. Tämä johtui ehkä siitä, että kyseisten kontrollikuvioiden runkoluku sattui juuri luokkarajojen tuntumaan. Tällaisten ”keskikokoisten” metsiköiden, käytännössä 02–03-kehitysluokkien tapauksessa olisi siis varmintä käyttää hieman yläkanttiin mi-

toitettua sädettä (esim. 6 m, 113 m²), ellei kyseessä ole tavallista tiheämpi puusto. Koealasäteen määräävä runkolukuluokitus (luku 2.2.2) on siis laadittava huolellisesti.

Kuviossa 12 on hypoteettinen tarkastelu koealakoon vaikutuksesta tilavuuden keski-
virheeseen. Laskenta perustuu koko aineiston keskimääräiseen ”edustuskontrollikuvioon”, jonka pinta-ala on 0,54 ha ja hehtaartilavuus 217 m³/ha. Ratkaisevaa on koealo-
jen välinen keskihajonta, jolle on kuviossa annettu kolme oletusarvoista vaihteluväliä: 200–120 m³/ha, 150–90 m³/ha ja 100–60 m³/ha (suhteellinen keskihajonta siis 92–55 %, 69–41 % ja 46–28 %). Kuviossa keskihajonta pienenee mittausmäärän kasvaessa likimäärin samassa suhteessa kuin koko aineiston perusteella on havaittavissa, toisin sanoen käyrän lopussa keskihajonta on 60 % alkuarvosta. Samoin kuviossa on pyritty huomioimaan se tosiasia, että mitä suurempia koealat ovat, sitä vähemmän niitä mahtuu puustokuvion sisälle. Tässä esimerkinomaisessa laskelmassa säteen kasvaessa metrin koealamäärä tippuu yhdellä: 12 kpl 4 m, 11 kpl 5 m, ..., 5 kpl 11 m. Puustokuvion pinta-alasta tulee pienimmällä säteellä mitattua 11 % ja suurimmalla 35 %.



**KUVIO 12. Esimerkilaskelma koealasäteen vaikutuksesta keski-
virheeseen.**

Laskelma nojaa vahvasti oletuksiin ja yleistykseen, joten siitä voi tehdä vain suuntaa antavia johtopäätöksiä. Tulos näyttäisi kuitenkin vahvistavan Walleniuksen (2010) havainnon, jonka mukaan koealasädettä ei monissa tapauksissa kannata kasvattaa yli noin seitsemän metrin. Toisaalta käytännössä havaitsin, että uudistuskypsissä metsiköissä 6,91 metrin säde oli joskus riittämätön, koska lukupuita kertyi hitaasti monien puiden jäädessä vain hieman säteen ulkopuolelle. Keskihajonnan pienentämiseksi suurin käytettävä säde voisi siis olla noin 8 m (koealakoko n. 200 m²), ja vain poikkeus-

tapauksissa tätä suurempi, esimerkiksi 9 m (koealako n. 250 m²). Joka tapauksessa runkoluvun etukäteisarvioinnin merkitys korostuu jälleen.

Myös Koivuniemi esittää kiinnostavan johtopäätöksen tutkiessaan metsiköiden kuviottaista arviointia: jos kuvion sisäisten trendien vaikutus poistetaan, koealojen koolla ja läheisyydellä ei ole suurta vaikutusta tulosten tarkkuuteen (Koivuniemi 2003, 127). Kuvioista 12 havaittava keskivirheen pieneneminen on kieltämättä suhteellisen pientä – edellyttäen että kuvion taustalla olevat oletukset ovat päteviä. Toisaalta tässä asiassa on luultavasti suurtakin metsikkökohtaista vaihtelua, ja lisäksi kuvio 11 jossain määrin puoltaa koealakoona kasvattamista tarkkuuden parantamiseksi. Koivuniemi huomioi itsekkin, että puuston arviointiin vaikuttaa merkittävästi puustotunnusten alueellinen jakauma sekä se, kuinka satunnainen, systemaattinen tai ryhmittäinen puuston tilajärjestys on (Koivuniemi 2003, 124–125).

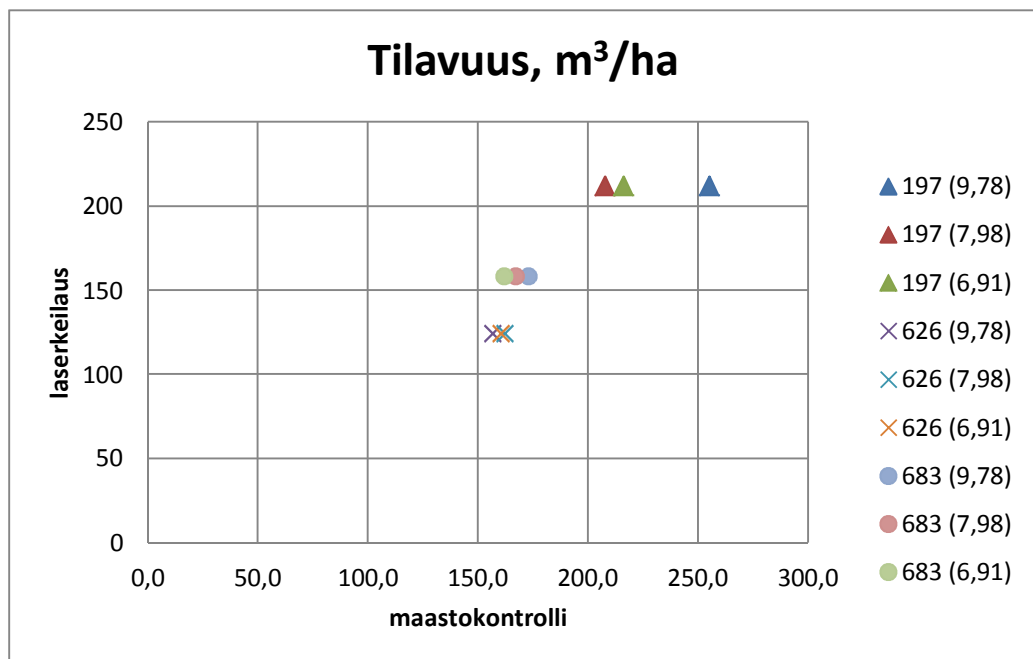
Maksimisäteen tarkastelemiseksi mittasin kolmella kontrollikuvioilla lukupuiden etäisyydet koealan keskipisteestä. Kyseiset kuviot olivat järeitä, uudistuskypsiä männiköitä, joten suurten säteiden käyttö oli tarpeellista. Taulukossa 10 on esitetty puustotunnukset sekä keskihajonta (s) ja keskivirhe (S) eri koealasäteillä laskien. Käytin laskennassa UPM:n ohjeen kahden suurimman säteen (6,91 m / 150 m² ja 9,78 m / 300 m²) lisäksi pituutta 7,98 m (200 m²). On todettava, että mittaustuloksia pitäisi olla useamalta kontrollikuvioilta, jotta mahdolliset erot hahmottuisivat selvemmin. Nyt erot näyttävät pääasiassa melko pieniltä, paitsi kuvioilla 197 ja 683 tilavuuden ja runkoluvun osalta.

TAULUKKO 10. Mittaustuloksia kolmella koealasäteellä.

pkuvio	r	mitattu pinta-ala	n	V m ³ /ha	N kpl/ha	G m ² /ha	D cm	H m	s(D)	s(H)	S(D)	S(H)
197	9,78	35,9 %	6	255,2	322	22,2	31,2	25,1	3,30	1,89	3,5 %	2,5 %
	7,98	23,9 %	6	207,8	267	18,9	30,7	23,9	2,96	1,14	3,4 %	1,7 %
	6,91	17,9 %	6	216,1	267	19,3	30,9	24,4	2,75	1,05	3,3 %	1,6 %
626	9,78	27,8 %	6	156,8	322	15,6	25,4	21,4	2,23	0,45	3,1 %	0,7 %
	7,98	18,5 %	6	162,5	333	16,1	25,3	21,5	2,15	0,42	3,1 %	0,7 %
	6,91	13,9 %	6	160,6	333	15,9	25,2	21,4	2,32	0,45	3,5 %	0,8 %
683	9,78	49,5 %	7	173,2	333	16,5	27,6	22,6	5,72	3,87	5,6 %	4,6 %
	7,98	33,0 %	7	167,4	279	15,7	27,4	22,9	2,82	1,30	3,2 %	1,8 %
	6,91	24,7 %	7	162,2	276	15,2	27,2	22,9	2,98	1,38	3,6 %	2,0 %

Kuviossa 13 näkyy kokonaistilavuuden vertailu laserkeilauksen tulosten kanssa näiden puustokuvioiden osalta; laserdataan on lisätty metsäsuunnitelman ilmoittama kahden

vuoden keskimääräinen tilavuuskasvu. Kuviolla 197 hajonta on syystä tai toisesta suurempaa, mutta muutoin koealasäteellä ei ole suurta vaikutusta. Kun tarkasteluun otetaan myös keskivirhe, edellä mainittu 8 m säde näyttäisi olevan varteenotettava kompromissi pisimmäksi säteeksi. Kaiken kaikkiaan keskivirheet ovat pieniä näillä kolmella kontrollikuviolla, mikä johtuu järeän puuston homogeenisyydestä. Runkotilavuudeltaan suuressa puustossa vähempi mittausmäärä riittää samaan tarkkuuteen pääsemiseksi kuin pienikokoisessa puustossa (Auvinen 1997). Puuston vaihtelu voidaan huomioida jo kontrollikuvioiden osittamisessa, joten tällöin tarkkuusvaatimusta ja mittausmäärää tarvittaessa korotetaan joillakin ositteilla (Koivuniemi 2003, 47).

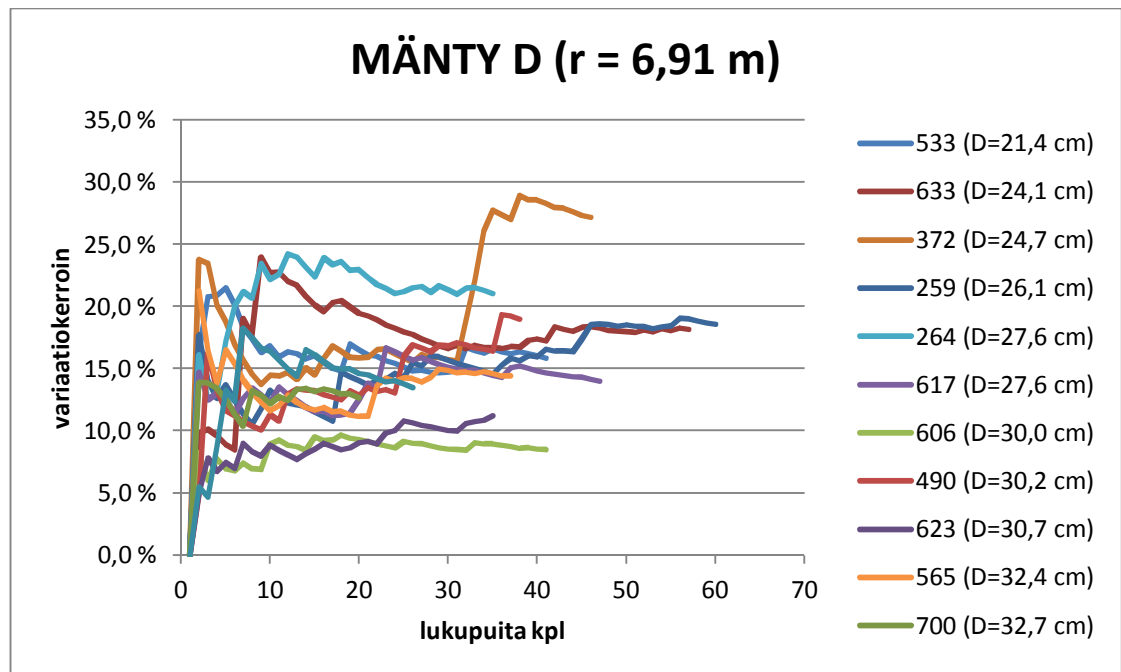


KUVIO 13. Maastokontrollin ja laserkeilauksen vertailua eri koealasäteillä.

UPM:n maastomittausohjeessa esitetään tavoitteeksi mitata puustokuvioilta noin 60 pääpuulajin lukupuuta (UPM Metsä 2010). Pyrin selvittämään lukupuiden optimaalisen määrän tarkastelemalla mittausten hajonnan muuttumista lukupuiden määrän mukaan (Koivuniemi 2003, 73–75). Käytin tarkastelussa suhteellista hajontaa keskiläpimitan variaatiokertoimen avulla, koska se on laaduton tunnusluku ja siten käyttökelpoinen erikokoisia puustoja vertailtaessa. Variaatiokerroin on keskihajonnan ja keskiarvon suhde (Holopainen ym. 2004, 145):

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \% \quad (6)$$

Kuviossa 14 ovat esimerkkinä männyn tulokset 6,91 m koaloilta; loput kuviot ovat liitteissä 2 ja 3. Kuviossa variaatiokerroin muuttuu kumuloituvasti lukupuiden kertyessä koko puustokuvion yli, eikä koalojen lukumäärää ole huomioitu. Tarkoituksena on löytää lukupuumäärän raja-arvo, josta puiden määrää lisäämällä hajonta ei enää merkittävästi pienene. Laskennassa on käytetty aritmeettista keskiläpimittaa, jonka variaatiokerroin on yleensä hieman suurempi kuin pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan. Siten noudatetaan eräänlaista varovaisuusperiaatetta, jotta mittaustavoitteet eivät jäisi liian alhaisiksi, jos variaatiokertoimen perusteella tehdään johtopäätöksiä. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna tämän aineiston variaatiokertoimet ovat jopa suhteellisen pieniä (Koivuniemi 2003, 123).



KUVIO 14. Männyn aritmeettisen keskiläpimitan variaatiokertoimen muutos lukupuiden määrän mukaan.

Keskiläpimitan variaatiokertoimen perusteella näyttää siltä, että noin 40 lukupuuta riittäisi useimmissa tapauksissa, männyllä jopa pienempikin määrä (vrt. liitteet 2 ja 3). Tässä on tosin suurehkoa vaihtelua metsikön puuston, pääpuulajin ja keskiläpimitan mukaan. Lehtipuuvaltaisia kontrollikuvioita ei ollut paljon, joten niiden osalta tulokset jäävät suuntaa antaviksi. Kuusen ja lehtipuiden suurempi hajonta selittyy myös alempien latvuserrosten paljoudella. Latvuserrokset voisi pyrkiä huomioimaan erottamalla eri jaksot toisistaan, esim. koodaamalla jakson jo maastossa tai suodattamalla lukupuuta laskentavaiheessa.

Kontrollikuvion vähemmistöpuulajeista voi joskus olla vaikeaa saada riittävästi mittauksia. Niiden osalta voisi pitää nyrkkisääntönä, että ainakin Näslundin pituusmallin vaatimat kolme pituuskoepuuta pitäisi saada mitattua, eli 15 kpl jos joka seitsemäs lukupuu on koepuu. Tämä vaatimus keskimäärin täyttyi tässä työssä, mutta tavoitteen ei luonnollisestikaan aina päästä, jos puulajin runkoluku on hyvin pieni. Tämän työn aineistossa läheskään kaikilla puustokuvioilla ei edes ollut kuusta tai lehtipuita, mutta silti pituuden keskivirhe on suhteellisen pieni. Näin ollen tämän aineiston keskimääräinen lukupuiden kokonaismäärä eli noin 70 kpl lienee vähintään kohtuullinen tavoite. Aineistossa lukupuumäärän vaihteluväli oli 34–136 ja mediaani 65 kpl, joten keskiarvotavoitteen nostaminen noin 80:een on eduksi tulosten luotettavuudelle.

Koealasäteet on totuttu ilmoittamaan sentin tarkkuudella, jotta pinta-alasta saadaan jokin helposti hehtaarikohtaiseksi muutettava kerroin. Käytännön työn helpottamiseksi on myös ajateltavissa, että säteet pyöristetään ylöspäin tasametreiksi, koska hehtaarikohtaisia puustotunnuksia ilmoitettaessa pieni pyöristäminen ei liene haitallista. Tältä pohjalta koealasysteemin voi hahmotella hieman alkuperäistä ohjetta yksinkertaisemmaksi (taulukko 11). Taulukon laskelmassa on tavoitteena mitata 80 lukupuuta, johon keskimäärin tarvittava koealamäärä ilmenee oikeanpuoleisimmasta sarakkeesta. Kyseiseen lukupuumäärään mahtuu varmasti riittävästi sekä pää- että vähemmistöpuulajin puita, ja usein vähempikin riittäisi. Lähellä runkolukuluokkien rajaa sekä muutenkin tapauskohtaisesti voi tietenkin olla tarvetta säätää koealamäärää, jotta lukupuita kertyy sopivasti. Suurimpana säteenä voi käyttää myös 9 m, jos kontrollikuvio on pinta-alaltaan suuri. Pyrkimyksenä on kuitenkin yksinkertaistaa käytettävien koealasäteiden valikoimaa.

TAULUKKO 11. Ehdotus koealasäteiden määräytymiseksi runkoluvun mukaan.

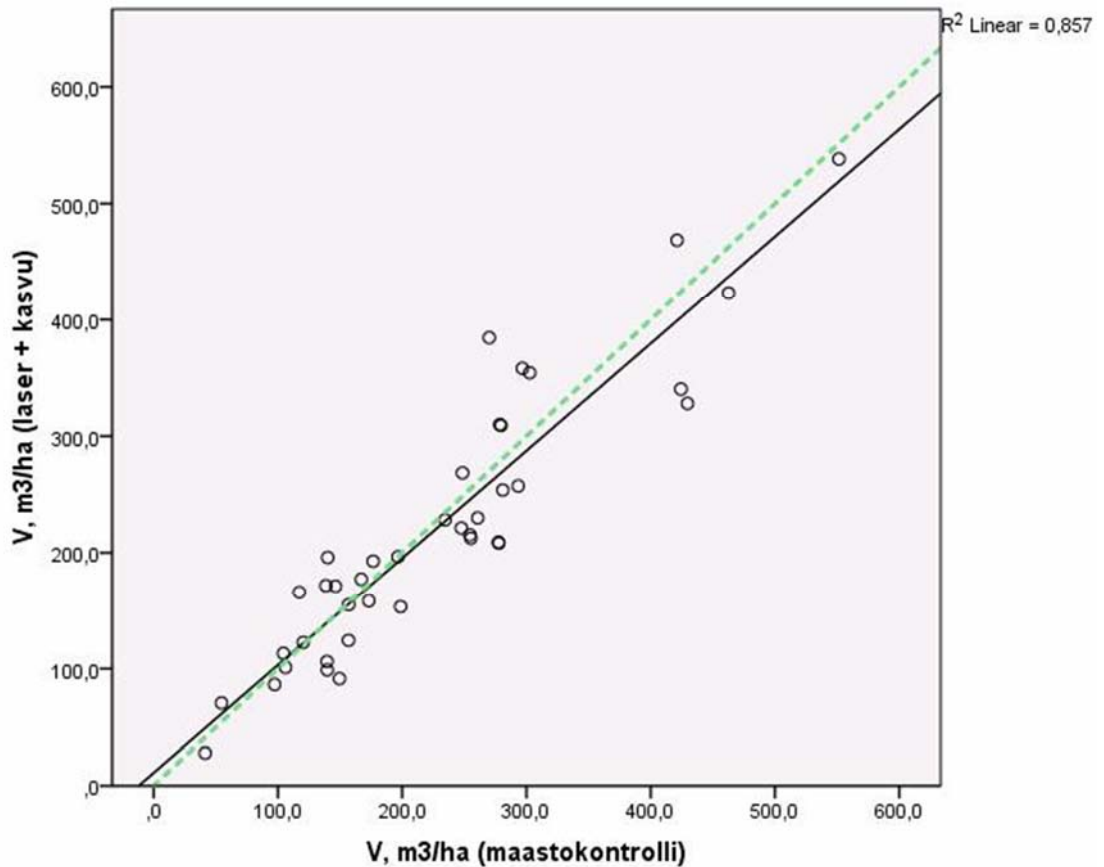
Koealojen välinen spatiaalinen autokorrelaatio puustokuvion sisällä voi olla sellainen tekijä, jota jatkossa on syytä tarkastella myös puustokuvioita mitattaessa (Koivuniemi 2003, 60, 73). Spatiaalinen autokorrelaatio tarkoittaa sitä, että toisiaan lähellä tehdyt havainnot ovat samankaltaisempia keskenään kuin kaukaiset (Kangas ym. 2003, 200). Asialla on merkitystä mm. systemaattisen otannan keskivirhettä arvioitaessa (Heikki-

nen 2006). UPM:n mittausmenetelmässä koealat sijaitsevat vieri vieressä, joten auto-korrelaatiota todennäköisesti esiintyy. Toisaalta puustokuviot ovat pieniä, joten koealojen kokonaispinta-ala on yleensä edustava ja ne on sijoitettu systemaattisesti. Tätä taustaa vasten olisi suositeltavaakin sijoittaa muutamia koealoja varsinaisen päälinjan viereen (siis poikkisuuntaiselle linjalle), jotta otoksen alueellinen edustavuus paranisi. Risteävät koealat voisi lisäksi sijoittaa osin satunnaisesti, eikä aina samaan kohtaan kuten esim. keskelle puustokuvioita – kunhan ne mahtuvat kokonaisuudessaan puustokuvion sisälle. Tällä olisi sekin pienehkö vaikutus, että olisi hivenen verran perustelumpaa käyttää satunnaisotannan kaavaa keskivirheen laskennassa, jos sijoittelussa on mukana satunnaisuutta. Poikittaissuunnan etsiminen sinänsä ei vaikeuta työtä, joten mittaamisen työvaikeus riippuu lähinnä puuston tiheydestä ja puulajijakaumasta.

3.4 Esimerkki laserkontrollista

Tässä alaluvussa esitellään lyhyesti maastokontrollin soveltamista varsinaiseen tarkoitukseensa, laserkeilausaineiston vertailuun ja validointiin. Tässä opinnäytteessä ei pyritty suorittamaan täydellistä validointia, vaikka se onkin maastokontrollimittausten tavoite. Kuten alaluvussa 1.3 on todettu, työssä keskityttiin maastomittauksen tarkasteluun.

Kuviossa 15 vertaillaan maastokontrollin ja laserkeilauksen tuottamaa tietoa puuston kokonaistilavuudesta kontrollikuvioilla. Vertailusta on poistettu ne seitsemän puustokuvioita, joilla oli tehty metsänhoitotoimenpiteitä laserkeilauksen ja maastokontrollin välisenä aikana. Laserdataan on lisätty kahden vuoden kasvu metsäsuunnitelmasta saadun tiedon perusteella – kasvuarviot koskevat kokonaisia metsätalouskuvioita, joten ne ovat vain karkeita arvioita puustokuviotasolla. Vihreä katkoviiva kuvaa suoraa, jolla havainnot sijaitsisivat ollessaan täysin yhtenevät. Musta viiva sen sijaan kuvaa trendiä, joka havainnoista ilmenee; tosin hajontaa on runsaasti varsinkin suuremmilla tilavuuksilla. Trendiviivan mukaan laserkeilaus tuottaisi pääasiassa lieviä aliarvioita tilavuudesta, pienillä puustoilla taas yliarvioita.



KUVIO 15. Maastokontrollin ja laserkeilauksen vertailua, kokonaistilavuus (vihreä katkoviiva: $y=x$, musta viiva: trendi)

Jos käytettävissä on vertailuaineisto, puustotunnusten estimoinnin tarkkuutta ilmoitetaan usein harhan sekä keskineliövirheen neliöjuuren (Root of Mean Square Error, RMSE) avulla. Tässä tapauksessa vertailuaineistona toimii maastokontrollimittaus, joka oletetaan ”oikeaksi” tiedoksi ja johon laserdataa verrataan. Harha kuvaa estimaattien systemaattista virhettä, joka yhdessä yksittäisten estimaattien satunnaisvirheiden keskihajonnan kanssa muodostaa RMSE:n. Näiden tunnuslukujen laskentatapa käy selville kaavoista 7 ja 8. (Kangas ym. 2003, 5–6; Miettinen 2009, 12–13; Suvanto ym. 2005, 418.)

$$\text{harha (bias)} = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{N} \quad (7)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{N-1}} \quad (8)$$

y_i = tunnuksen y todellinen arvo ositteella/kuviolla i (maastokontrolli)
 \hat{y}_i = tunnuksen y estimoitu arvo ositteella/kuviolla i (laserkeilaus)
 N = havaintojen lukumäärä

Taulukossa 12 on vertailtu laserkeilausten ja maastokontrollin perusteella arvioitua kontrollikuvioiden kokonaistilavuutta sekä laskettu harha ja RMSE. Havaintojen joukosta on poistettu kontrollikuviot, joilla tiettävästi oli tehty toimenpiteitä laserkeilausten ja maastotarkistusmittauksen välisenä aikana. Harhaa ja satunnaisvirheitä on, vaikka kokonaistilavuuden keskiarvot ovat hyvin lähellä toisiaan.

TAULUKKO 12. Laserkeilausten ja maastokontrollin vertailua kokonaistilavuuden osalta.

pkuvio	V_kontr	V_laser	HARHA	RMSE
197	255,2	212,4	0,9114	39,8871
225	196,6	196,5	0,0017	0,0001
239	139,5	106,2	0,7090	24,1425
259	278,5	309,9	-0,6672	21,3749
264	429,6	328,0	2,1613	224,3211
265	421,1	468,6	-1,0101	48,9989
284	120,4	122,5	-0,0447	0,0961
307	293,4	257,3	0,7671	28,2590
313	149,5	91,4	1,2369	73,4707
349	157,0	155,0	0,0421	0,0852
351	423,2	340,3	1,7643	149,4853
372	254,6	215,2	0,8381	33,7323
373	139,7	98,9	0,8682	36,1967
376	97,4	86,4	0,2330	2,6081
377	281,0	253,8	0,5778	16,0318
385	106,1	101,1	0,1074	0,5538
397	138,6	171,7	-0,7045	23,8362
407	167,0	177,2	-0,2162	2,2446
409	54,6	70,6	-0,3397	5,5406
452	462,7	423,2	0,8401	33,8956
500	41,5	28,0	0,2867	3,9466
502	277,5	209,1	1,4556	101,7525
533	140,1	195,9	-1,1868	67,6363

540	296,7	358,1	-1,3057	81,8697
543	302,6	354,3	-1,1005	58,1593
545	104,4	113,1	-0,1843	1,6316
554	277,8	208,2	1,4802	105,2179
556	198,7	153,3	0,9658	44,7916
565	279,6	309,1	-0,6286	18,9735
571	117,2	165,8	-1,0342	51,3618
588	551,4	538,3	0,2790	3,7390
606	234,5	228,2	0,1337	0,8585
611	176,6	192,8	-0,3438	5,6753
617	247,6	221,2	0,5622	15,1760
623	248,5	268,5	-0,4254	8,6919
626	156,8	124,3	0,6912	22,9428
633	260,7	230,0	0,6535	20,5085
652	146,3	171,2	-0,5290	13,4389
683	173,2	158,3	0,3171	4,8291
700	270,1	384,4	-2,4322	284,0661
	226,7	220,0	5,7308	40,9881
	ka	ka	2,5 %	18,1 %

4 POHDINTAA

Subjektiivisena kokonaisarviona voi todeta tiiviisti, että tässä työssä testattu maastomittausmenetelmä on kätevä ja käyttökelpoinen. Kehittämismahdollisuuksiakin silti on, ja ainakin tämän projektin perusteella niistä merkittävimmät liittyvät paljon muuhunkin kuin itse maastotyöhön: inventoinnin ennakkosuunnitteluun, tarkistuskuvioiden otannan suorittamiseen, tulosten laskentaan sekä tietojen käsittelyn sujuvuuteen. Kehittämiskohteita tarkastellaan yhteenvedon tapaan tässä luvussa. Tämän työn kokemusten perusteella olen myös laatinut ehdotuksen päivitetyksi tarkistusmittausohjeksi (liite 5).

4.1 Tietojen käsittely

Käytettävät tietojärjestelmät ja mittalaitteet riippuvat kontrollimittauksen toteuttavasta organisaatiosta, joten hyviä toimintamalleja voi olla useita. Olennaista on, että käsiteltävä data (paikka- ja kuviotiedot, laserdata, kontrollimittaukset) olisi mahdollisimman yhdenmukaista ja sitä tarvitsisi siirrellä eri ohjelmistojen välillä mahdollisimman vähän. Siten vältetään mahdollisia tiedonsiirrosta ja käsin muokkaamisesta aiheutuvia virheitä, jotka voivat pahimmassa tapauksessa vaarantaa validoinnin luotavuuden.

Olisi kannattavaa laatia valmis otantalomake esim. taulukkolaskenta- tai paikkatieto-ohjelmalla juuri tätä puustokuvioiden inventointimenetelmää varten. Lomakkeessa tulee olla valmiit paikat tarvittaville tunnuksille, jotka syöttämällä voidaan kaavoilla ja/tai makroilla suorittaa otanta helposti sekä muuttaa sitä tarvittaessa parametreja vaihtelemalla. Tällaisen lomakkeen/lomakkeiden kehittäminen valmiimmaksi olisi hyödyllinen jatko tälle projektille. Kehitystyö olisi luultavasti melko yksinkertaista, koska ko. organisaatiossa pitäisi olla olemassa tarvittavat tiedot sekä metsävaroista että niiden hallinnassa käytettävistä tietojärjestelmistä. Otantalomake on suunniteltava pitäen silmällä myös kontrollimittausten tulosten sujuvaa yhdistämistä otannan tietoihin. Tällöin voidaan seurata jo mittaustietojen keräämisen aikana, vastaako etukäteen suunniteltu ositus todellisia puustotietoja vai olisiko ehkä tarvetta muuttaa tarkistuskuvioiden valintaa. Tähän tarpeeseen vastaisi ehkä parhaiten relaatiotietokanta, jossa yhdistävänä tietokenttänä eli perusavaimena toimii puustokuvion numero tai muu vastaava tunnus. Samoihin perustietueisiin palautuva tietokantarakenne helpottaisi myös

tulosten laskentaa ja pienentäisi virheiden todennäköisyyttä, sekä mahdollistaisi tiedon sujuvan sitomisen paikkaan. Tietokannan kaltainen rakenne onnistuu myös esimerkiksi Excel-taulukoina, joissa tiedot on tarvittavin osin linkitetty toisiinsa. Tiedostomuoto on lopulta toissijainen seikka, kunhan tiedon käsittely on tehokasta ja virheet pyritään minimoimaan.

Elektronisissa mittasaksissa käytettävää mittausohjelmaa voidaan säädellä tarpeen mukaan. Tämän opinnäytteen sivutuotteena ilmeni eräs kehittämisidea Masser Developer -ohjelmaan, jolla mittasaksen mittausrutiineja laaditaan. Kyseisellä ohjelmalla ei nimittäin tällä hetkellä voi luoda ehtolauseketta, jonka avulla joka seitsemännen puun valinta pituuskoepuiksi onnistuisi automaattisesti puulajeittain – puulajia huomioimatta se kyllä onnistuu, mutta UPM:n mittausmenetelmässä koepuut poimitaan puulajin sisällä. Käytännössä puute oli melko pieni, mutta kyseisen ominaisuuden avulla mittasaksien näppäily vähenisi eikä mittaaajan tarvitsisi seurata puiden järjestysnumeroa ja valita koepuita itse.

Kehittyneempi versio edellä mainitusta otantarutiinista olisi sellainen, jossa huomioitaisiin lisäksi puun koko, käytännössä pohjapinta-ala. Yksinkertaisessa satunnaisotannassa on nimittäin mahdollista, että pieniä puita valikoituu pituuskoepuiksi suhteettoman paljon verrattuna kokonaispuustoon. Vaikka pituuskoepuita tuleekin poimia kohtuullisen edustavasti kaikista kokoluokista, valtapuut ja muut kookkaammat puut muodostavat pääosan metsikön tilavuudesta ja siten myös arvosta, joten mielenkiinto kohdistuu mittauksessa ennen kaikkea niihin. Suuret puut saavat riittävän painoarvon koepuuotannassa esimerkiksi siten, että niiden todennäköisyys tulla valituksi pituuskoepuiksi on verrannollinen niiden pohjapinta-alaan (eli käytännössä läpimittaan). (Kangas ym. 2003, 76–78.) Jos mittasaksiin voisi ohjelmoida laskentarutiinin seuraamaan pohjapinta-alan kertymistä, koepuiden otantavälin pystyisi suhteuttamaan mitattavaan puustoon. Käytännön maastomittauksessa tämä voisi tosin olla työlästä, koska mitattavat puustokuviot ovat erilaisia eikä otantaväli siksi voi olla aina sama. Lisäksi koska kyseessä on kontrollimittaus, tarvitaan kattavia ja edustavia mittaustietoja kaikenlaisista puista ja on myös muistettava, että vertailukohteena oleva laserkeilain käy metsäalueen läpi mekaanisesti, sen ominaisuuksista ”piittaamatta”. Pohjapinta-alaa otantakriteerinä voisi silti ainakin kokeilla käytännössä.

Yksinkertaistettu vaihtoehto lukupuiden koon huomioimiseen on syöttää mittasaksiin tieto kunkin puun latvuserroksesta, esim. kahtiajaolla valtapuu tai alempi. Tämänkaltaisen käytäntö on tuttu tilakohtaisesta metsäsuunnittelusta, ja se mahdollistaa yksityiskohtaisemman laskennan. Tällöin mittaajan työmäärä tosin kasvaisi etenkin monijaksoisissa tai muutoin epätasaisissa metsiköissä. Joka tapauksessa kunhan kokemusta kontrollimittauksista kertyy lisää, voi tehokkaita inventointitapoja löytyä useitakin.

4.2 Maastomittauksen suunnittelu ja toteutus

Tarkistuskuvioiden valinta on erittäin tärkeä osa validointiprosessia. Ositus- ja luokitelukriteerit tulee tarkastella ja vertailla erilaisten metsäalueiden tapauksissa. Tässä työssä vaihtoehdoiksi nousivat osin aiemman tutkimuksen pohjalta ainakin tilavuus, keskipituus, hajonnat sekä kehitysluokat ja toimenpidetarve. On suositeltavaa lisätä kontrollikuvioiden määrää UPM:n ohjeessa tällä hetkellä olevasta 50–60 puustokuvion tavoitteesta, karkeasti arvioiden noin 70–80:een. Tämä tosin riippuu inventoitavan alueen koosta ja puuston ominaisuuksista. Kontrollikuvioiden määrää lisättäessä niitä voidaan kuitenkin poimia osin ryväotannan tapaan, jotta kustannusten nousu pysyy kurissa. Alueellisen kattavuuden kannalta myös voi olla järkevää pyrkiä valitsemaan sellaisia kontrollikuvioita, jotka sijaitsevat mahdollisimman kaukana laserkeilauksen referenssikoealoista.

Kontrollimittaus on suositeltavinta tehdä heti, kun laserkeilauksen tulokset ovat käytettävissä. Mitä vähemmän aikaa kuluu laserkeilauksen ja maastokontrollin välillä, sitä vähemmän puusto ehtii muuttua kasvun, hakkuiden, metsänhoitotöiden, myrskytuhojen ja luonnollisen poistuman vaikutuksesta. Tosin muutoksista ei juuri aiheudu ongelmia, jos metsävaratietoja päivitetään koko ajan reaaliaikaisesti. Nopeus on kuitenkin hyödyksi siinäkin suhteessa, että laserdataa ja kontrollimittauksia voidaan vertailla suoraan tarvitsematta turvautua kasvulaskentaan. Esimerkiksi tässä työssä laserkeilauksella tuotettuun puustotietoon olisi pitänyt laskea kahden kasvukauden lisäys, jotta tarkka vertailulaskenta olisi ollut mahdollista – tässä vaiheessa tyydyin suuntaa antavaan vertailuun ilman kasvupäivitystä muissa kuin kokonaistilavuudessa. Ainakin kokonaisuutena kontrollimittaus onnistuu toki myös kasvumallien avulla, mutta tilanne on aina parempi, jos laskentamalleja voi jättää välistä pois. Malleihin liittyy aina epävarmuustekijöitä, ja mallien ketjuttaminen vielä lisää niitä; laserkeilauksen tapauksessa esimerkkinä voi mainita johdetun puustotunnuksen kuten läpimitan kasvattami-

sen laskentamallin avulla, ja saadun tuloksen käyttämisen edelleen tilavuusmallissa. Jos kasvulaskentaan kuitenkin joudutaan turvautumaan, voi olla perusteltua päivittää mieluummin maastokontrollin puustotunnuksia taaksepäin kuin aluepohjaista laserdataa (Kevätlaser 2009). Koska koealoilta mitataan runsaasti yksittäisiä puita, niiden avulla saadaan kasvu laskettua puukohtaisilla malleilla tarkemmin kuin laserdatasta puustokuviotasolla, mutta toisaalta koko inventointialueen tasolla lopputulokset eivät välttämättä poikkeaisi merkittävästi toisistaan.

Lumi vaikeuttaa koealamittausta ja lisää virheiden riskiä, joten maastokontrolli kannattaa toteuttaa mieluiten lumettomana aikana. Tähän asti laserkeilaus on tehty useimmiten kesäaikana, joten maastokontrollille soveliaain ajankohta olisi heti seuraava syksy, edellyttäen että puustotieto ehditään tulkita siihen mennessä. Myös seuraava varhaiskevät ennen kasvukauden käynnistymistä olisi sopiva mittaajankohta, jos syksyllä ei päästä mittaamaan. Tilanne voi kuitenkin muuttua, koska myös lehdetön varhaiskevät on todettu metsävarojen laserkeilaukseen soveltuvaksi vuodenaajaksi (Kevätlaser 2009). Jatkossa tarjolle voi siis tulla useina eri vuodenaikoina hankittua laserdataa, mikä on huomioitava kontrollimittauksia ja niiden ajoitusta suunnitellessa.

Laserinventointiin ja sen tulosten validointiin liittyvät yksityiskohdat ovat laserkeilauksen tuottajan ja tilaajan välisiä sopimusasioita. Voi siis syntyä esimerkiksi tilanne, jossa maastokontrollimittaukset aloitetaan jo ennen lopullisen lasertulkinnan valmistumista (Lehtinen 2011). Tällöin voi olla vaikeaa sijoittaa koealat luotettavasti kunkin puustokuvion sisälle, jos kuviorajat eivät ole tarkasti tiedossa. Tällaisessa tapauksessa voisi harkita joidenkin koealojen paikantamista tarkkuus-GPS:n avulla, jotta niiden sijainti voidaan huomioida laskennassa puustokuvioiden rajojen mahdollisesti muuttuessa (Koivuniemi 2003); näillä koealoilla olisi ehkä käytettävä suurempaa sädettä kuin tässä mittaussuunnitelmässä muutoin. Rajojen ollessa epävarmoja voidaan myös vähentää koealamäärää puustokuvion sisällä, mutta vastaavasti lisätä mitattavien puustokuvioiden määrää. Voidaan myös hyödyntää hilaruudukkopohjaista puustotietoa, jos sellainen on keilausdatasta tulkittu. Tällöin jouduttaisiin kuitenkin jo kokonaan toisenlaisen inventointimenetelmän pariin kuin tässä työssä tarkasteltu puustokuviokohtainen tarkistusmittaus. Varminta on mahdollisuuksien mukaan odottaa tarkan puustokuvioinnin valmistumista, jotta koealat voidaan sijoittaa luotettavasti. Tässä kontrollimitausmenetelmässä pyritään sujuvuuteen ja käytännöllisyyteen, joten suurikokoisen

tarkkuus-GPS:n kantaminen maastossa ei olisi kovin tarkoituksenmukaista, varsinkin koska sitä on hyödynnetty jo etukäteen referenssikoealoja mitattaessa. Käsi-GPS on tarkkuudeltaan siedettävä ja ennen kaikkea kätevä väline käytännön työssä, kunhan koealojen osuminen oikeaan puustokuvioon varmistetaan joko etukäteen tai laskentaa korjaten jälkikäteen.

Tarkastellun mittausten menetelmän kustannustehokkuutta voi tämän opinnäytetyön osalta arvioida vai suuntaa antavasti, koska ajankäyttöä ei mitattu tarkasti. Lähtökohtaisesti tehokkainta on pyrkiä siihen, että yksi henkilö voi suorittaa kontrollimittauksen alusta loppuun; tämän työn myötä saadun kokemuksen perusteella se onnistuu hyvin. Etenkin jos käytettävissä on elektroninen etäisyysmittari, maastotyö on sujuvaa yksin tehtynä. Jos etäisyysmittarin sijasta käytetään mittanauhaa, voi olla syytä käyttää kahden mittaaajan. Kahden mittaaajan systeemiä voisi olla etua työnjaossa: toinen mittaa läpimitat ja osoittaa koepuut, toinen taas keskittyy pituusmittauksiin. Toisaalta tietojen syötössä voi tapahtua helpommin virheitä tällä tavoin, jos koepuut menevät mittaaajilta keskenään sekaisin. Lisäksi on huomioitava, että kaksinmittauksen nopeampi sujuminen yksinmittaukseen verrattuna ei välttämättä johda kustannustehokkuuden paranemiseen vastaavassa suhteessa (Kevätlaser 2009). Koska mittaustarkkuuskaan ei yleensä parane mittaaajia lisäämällä, on edelleen ensisijainen vaihtoehto pyrkiä yksinmittaukseen. Jos kaikki koealat on tarkoitus merkitä kepeillä tms. (puolipysyvästi), työmäärä lisääntyy suhteellisen paljon, muttei välttämättä kohtuuttomasti yhden hengen toteutettavaksi. Käytännön mittaustyö helpottuu huomattavasti, jos käytössä on elektroninen etäisyysmittari sekä kohtuullisen toimintavarma GPS-laite. Kontrollimittausta toteuttavalle organisaatiolle hyviin mittavälineisiin investoiminen tuottaa siis pienen koston kustannuksen mutta suuren hyödyn.

Uusia ulottuvuuksia sekä kustannustehokkuutta maastomittaukseen on luultavasti tulossa jatkossa, jos ja kun mittavälineiden kehitystyö etenee. Elektroniset mittalaitteet voivat ainakin teoriassa mahdollistaa kaikkien tarvittavien puustotunnusten mittaamisen osin jopa poistumatta ympyräkoealan keskipisteestä. (Vastaranta ym. 2009.) Tällöin kontrollimittauksissakin voitaisiin tarvittaessa lisätä sekä luku- että koepuiden määrää, mikä parantaisi inventoinnin luotettavuutta. Samalla muidenkin tunnusten mittaaminen tai johtaminen voi mittalaitteista riippuen onnistua ajanmenekin silti kasvatta. Mittalaitteiden kehitys helpottanee myös inventoinnin suorittamista yhden

henkilön voimin; tässä työssä tarkasteltu menetelmä on jo nykyisillä välineillä soveltuva yksin tehtäväksi, mutta tehostamisen varaa voi toki vielä löytyä.

4.3 Yhteenveto

Aikaisemman tutkimuksen ja tämänkin työn perusteella voi todeta, että laserkeilauksen maastokontrollimittaus on ehdottomasti tarpeellista – ainakin toistaiseksi. Puustotai metsätalouskuviotasolla ei voi luottaa sokeasti laserkeilauksen tuottamiin puustotietoihin, vaikka metsäalueen tasolla keskivirhe voikin olla alle 10 %. Kunhan aineistoa ja kokemuksia kertyy, tarkkuus menee mitä todennäköisimmin parempaan suuntaan, vaikka se on jo nyt hyvä. Maastokontrollimittauksessa on niin ikään paljon mahdollisuuksia parantaa luotettavuutta ja kannattavuutta. Otantamenetelmän valinta ja kehittäminen on yksi merkittävimmistä tekijöistä, maastotyön osalta taas koealakoko. Tämän kokemuksen perusteella mittausohjeen voisi tiivistää esim. seuraavasti: maastossa kannattaa mitata varmuuden vuoksi vähän ylimääräistä, mutta sitäkin tarkempaa huomiota on kiinnitettävä kontrollikuvioiden valintaan.

LÄHTEET

Auvinen, Pekka 1997. Metsänmittaus. Helsinki: Opetushallitus.

Haara, Arto & Korhonen, Kari 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004, 489–508.

Heikkinen, Juha 2006. Assessment of uncertainty in spatially systematic sampling. Teoksessa Kangas, Annika & Maltamo, Matti (toim.) 2006. Forest inventory: methodology and applications. Managing forest ecosystems vol. 10. Secaucus, NJ: Springer Verlag.

Holopainen, Markus & Hyypä, Juha 2009. Kohden lasermittauksiin perustuvaa täsmämetsätaloutta. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009, 357–360.

Holopainen, Markus & Kalliovirta, Jouni 2006. Modern data acquisition for forest inventories. Teoksessa Kangas, Annika & Maltamo, Matti (toim.) 2006. Forest inventory: methodology and applications. Managing forest ecosystems vol. 10. Secaucus, NJ: Springer Verlag.

Holopainen, Martti & Tenhunen, Lauri & Vuorinen, Pertti 2004. Tutkimusaineiston analysointi ja SPSS. Yrityssanoma Oy. Hamina: Oy Kotkan Kirjapaino Ab.

Kangas, Annika, Heikkinen, Elina & Maltamo, Matti 2002. Puustotunnusten maastoarvioinnin luotettavuus ja ajanmenekki. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002, 425–440.

Kangas, Annika, Päivinen, Risto, Holopainen, Markus & Maltamo, Matti 2003. Metsän mittaus ja kartoitus. Silva Carelica 40. Joensuu : Joensuun yliopisto.

Kangas, Annika 2006. Design-based sampling and inference. Teoksessa Kangas, Annika & Maltamo, Matti (toim.) 2006. Forest inventory: methodology and applications. Managing forest ecosystems vol. 10. Secaucus, NJ: Springer Verlag.

Kangas, Annika & Maltamo, Matti (toim.) 2006. Forest inventory: methodology and applications. Managing forest ecosystems vol. 10. Secaucus, NJ: Springer Verlag.

Kevätlaser metsävarojen inventoinnissa 2009. MMM:n konserniohjelmahankkeen loppuraportti (proj. n:o 311100). Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. PDF-dokumentti. <http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/pdf/Kevatlaser.pdf>

Koivuniemi, Jyrki. 2003. Metsiköihin ja paikannettuihin koealoihin perustuva kuvioittaisen arvioinnin tarkkuus. Helsinki: Helsingin yliopisto. Väitöskirja. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 30.

Korpela, Ilkka. Tarkkuus, täsmällisyys ja virheet. WWW-dokumentti. http://users.tkk.fi/korpela/maa20335_3.html. Ei päivitystietoa. Luettu 8.5.2011.

Korpilahti, Eeva 2009. Uusi laserteknologia metsänmittauksessa ja metsien inventoinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009, 307–308.

Kärkkäinen, Kauko 2010. Keskustelu 18.5.2010. Metsävaratietoasiantuntija. UPM Metsä.

Laine, Jari 2010. Laserkeilausmenetelmä taimikoiden hoitotarpeen ja -ajoituksen määrittelyssä. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Metsätalous. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti.

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15000/Laine_Jari.pdf?sequence=1

Lappi Juha. Inventointimenetelmien kustannustehokkuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2006, 521–523.

Lehtinen, Jaakko 2010a. Yksityinen sähköpostiviesti 14.6.2010. Projektiasiantuntija. UPM Metsä.

Lehtinen, Jaakko 2010b. Yksityinen sähköpostiviesti 2.7.2010. Projektiasiantuntija. UPM Metsä.

Lehtinen, Jaakko 2010c. Yksityinen sähköpostiviesti 6.10.2010. Projektiasiantuntija. UPM Metsä.

Lehtinen, Jaakko 2011. Puhelinkeskustelu 15.2.2011. Projektiasiantuntija. UPM Metsä.

Leino, O., Holopainen, M., Mäkinen, A., Happonen, H., Kiviaho, T. & Tuominen, R. 2006. Pysty- ja maalahopuuston inventointi relaskooppiotannan avulla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2006, 383–390.

Maltamo, Matti, Packalén, Petteri, Uuttera, Janne, Ärölä, Esa & Heikkilä, Juho 2008. Laserkeilaustulkinnan hyödyntäminen metsäsuunnittelun tietolähteenä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2008, 304–309.

Maltamo, Matti, Peuhkurinen, Jussi, Malinen, Jukka, Vauhkonen, Jari, Packalén, Petteri & Tokola, Timo 2009. Predicting tree attributes and quality characteristics of Scots pine using airborne laser scanning data. *Silva Fennica* 43(3), 507–521.

Metsäkeskus 2010. Metsävaratiedot kerätään nyt laserkeilaamalla. WWW-dokumentti.

http://www.metsakeskus.fi/web/fin/uutiset/2010_uutiset/toukokuu/uu_ta_ml_metsavaratiedot_kerataan nyt_laserkeilaamalla.htm. Päivitetty 11.05.2010. Luettu 20.4.2011.

Miettinen, Tomi 2009. Nikkarilan laserkeilausprojekti. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Metsätalous. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti.

<https://ap.mikkeli.amk.fi/e-opinnayte/opinn200981444.pdf>

Närhi, M., Maltamo, M., Packalén, P., Peltola, H. & Soimasuo, J. 2008. Kuusen taimikoiden inventointi ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittäminen laserkeilauksen ja metsäsuunnitelmätietojen avulla. Metsätieteen aikakauskirja 1/2008, 5–15.

Packalén, Petteri 2009. Using airborne laser scanning data and digital aerial photographs to estimate growing stock by tree species. Joensuu: Joensuun yliopisto. *Dissertationes forestales* 77. Metsätieteellinen tiedekunta. Väitöskirja. PDF-dokumentti.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df77.pdf>

Pukkala, Timo 2007. Metsäsuunnittelun menetelmät. Joensuu : Joen Forest Program Consulting.

Ranta, Esa, Rita, Hannu & Kouki, Jari 1999. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. 7. painos. Helsinki: Yliopistopaino.

Rantala, Satu (toim.) 2008. Tapion taskukirja. Metsäkustannus Oy & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.

Sironen, Janne 2010. Yksityinen sähköpostiviesti 8.10.2010. Masser Oy.

Suvanto, Aki, Maltamo, Matti, Packalén, Petteri & Kangas, Jyrki 2005. Kuviokohtaisten puustotunnusten ennustaminen laserkeilauksella. Metsätieteen aikakauskirja 4/2005, 413–428.

Tilastollinen päättely 2004. Kvantitatiivisten menetelmien tietovaranto. WWW-dokumentti. <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/paattely/paattely.html>. Päivitetty 4.7.2004. Luettu 8.5.2011.

Tuominen, Sakari, Holopainen, Markus & Poso, Simo 2006. Multiphase sampling. Teoksessa Kangas, Annika & Maltamo, Matti (toim.) 2006. Forest inventory: methodology and applications. Managing forest ecosystems vol. 10. Secaucus, NJ: Springer Verlag.

UPM Metsä 2010. Kaukokartoitustulkinnan tarkistusaineiston mittaus, versio 1.0. Moniste. Päiväty 12.5.2010.

Utterä, Janne, Hiltunen, Juha, Rissanen, Pirjo, Anttila, Perttu & Hyvönen, Pekka 2002. Uudet kuvioittaisen arvioinnin menetelmät–arvio soveltuvuudesta yksityismaiden metsäsuunnitteluun. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002, 523–531.

Utterä, Janne, Anttila, Perttu, Suvanto, Aki & Maltamo, Matti 2006. Yksityismetsien metsävaratiedon keruuseen soveltuvilla kaukokartoitusmenetelmillä estimoitujen puustotunnusten luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2006, 507–519.

Vastaranta, Mikko, Holopainen, Markus, Kaartinen, Harri, Hyypä, Hannu & Hyypä, Juha 2009. Uudistuneet metsien maastomittaustarpeet. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009, 370–374..

Vesa, Lauri 2009. MetsäMitta – ForestCalc. Ohjelman käyttöohjeet. ForestCalc Consulting Oy, Joensuu. PDF-dokumentti. http://www.forestcalc.com/ForestCalc_Ohjeet_1.pdf

Wallenius, Tarja 2010. Quality assessment of a forest inventory based on airborne laser scanning. Helsingin yliopisto. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu -työ. PDF-dokumentti. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/63070/qualitya.pdf?sequence=1>

Ärölä, Esa 2008. Metsävarojen mittaaminen ja arviointi. Teoksessa Rantala, Satu (toim.) 2008. Tapion taskukirja. Metsäkustannus Oy & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.

Kannen kuvat

Hyypä, Juha. Laserkeilaimen käyttö puustotunnusten mittaamisessa. WWW-dokumentti.

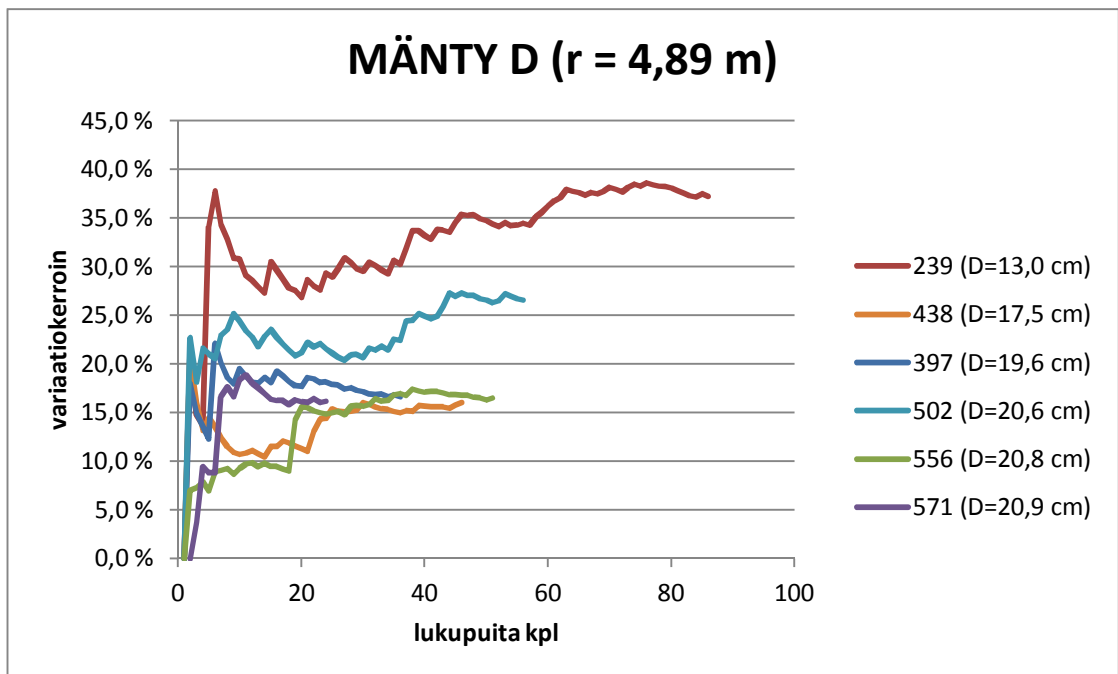
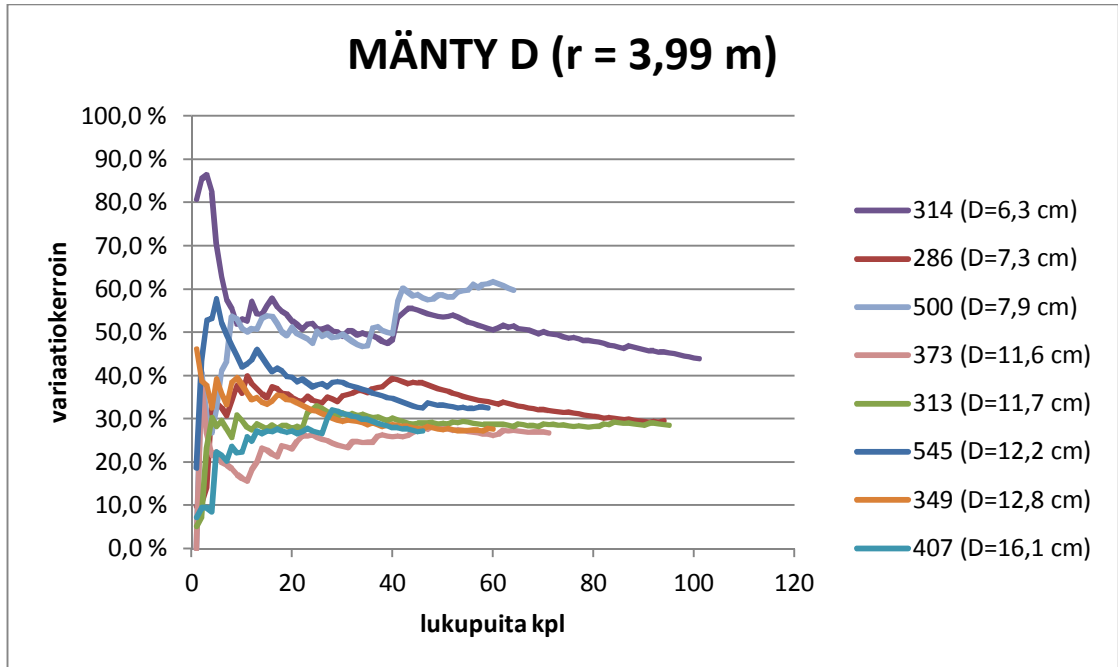
http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswww/lasercase1.html. Ei päivitystietoa. Luettu 20.5.2011.

Wikipedia. Tiedosto:UPM-Kymmene Oyj-n logo.svg. WWW-dokumentti.

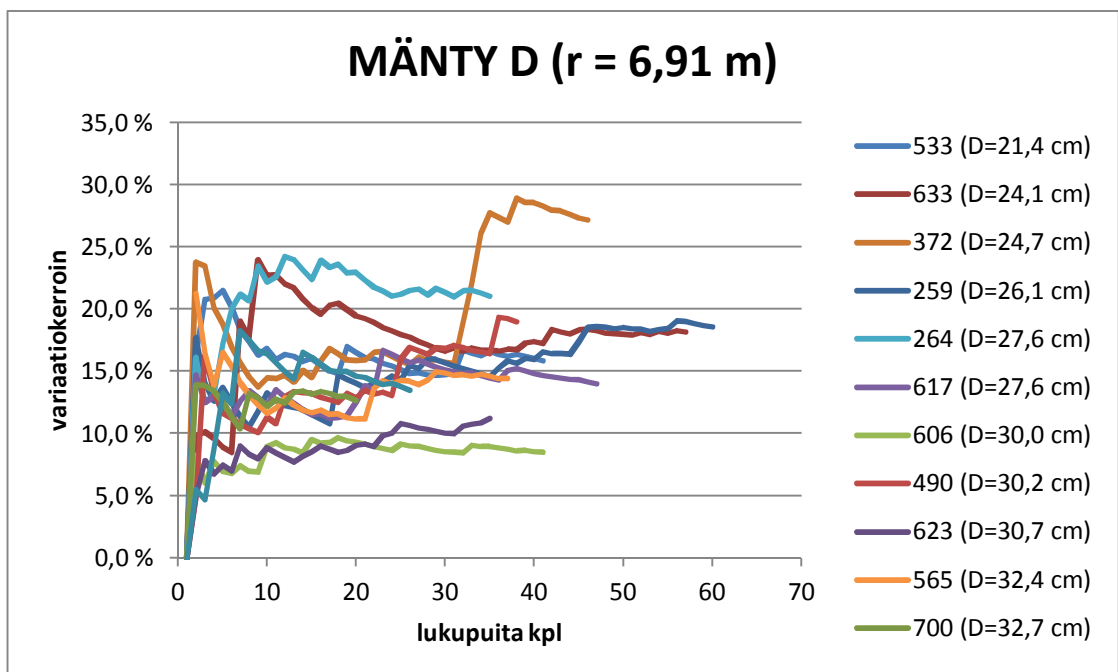
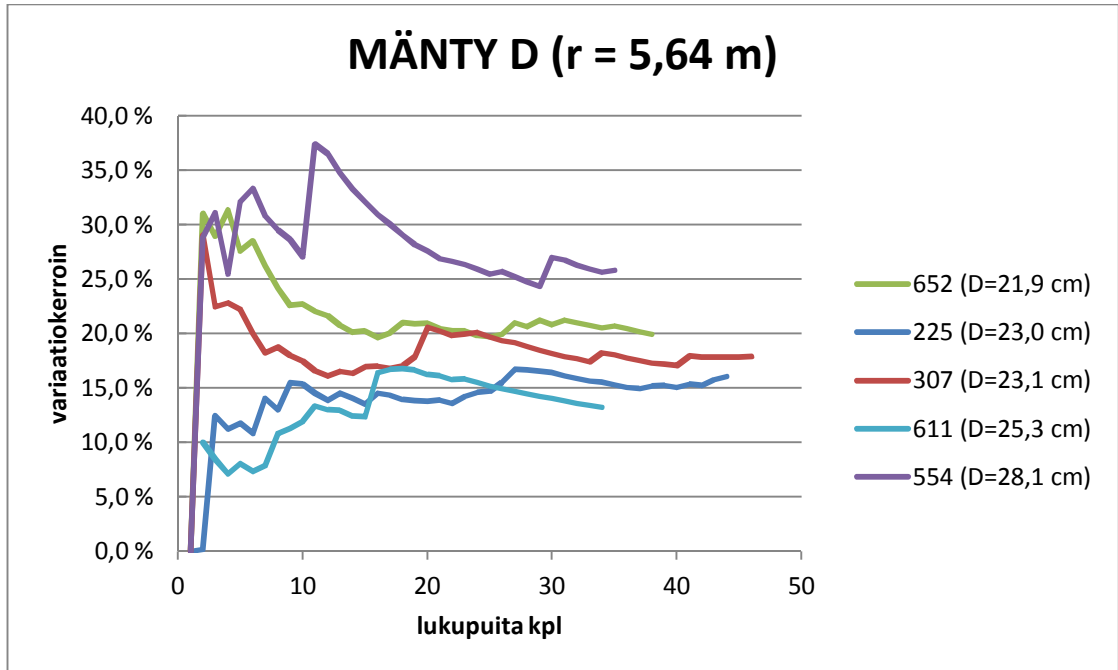
http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:UPM-Kymmene_Oyj-n_logo.svg. Päivitetty 20.6.2006. Luettu 20.5.2011.

LIITTEET**Liite 1. Masser-mittasaksien tiedonkeruuohjelma.**

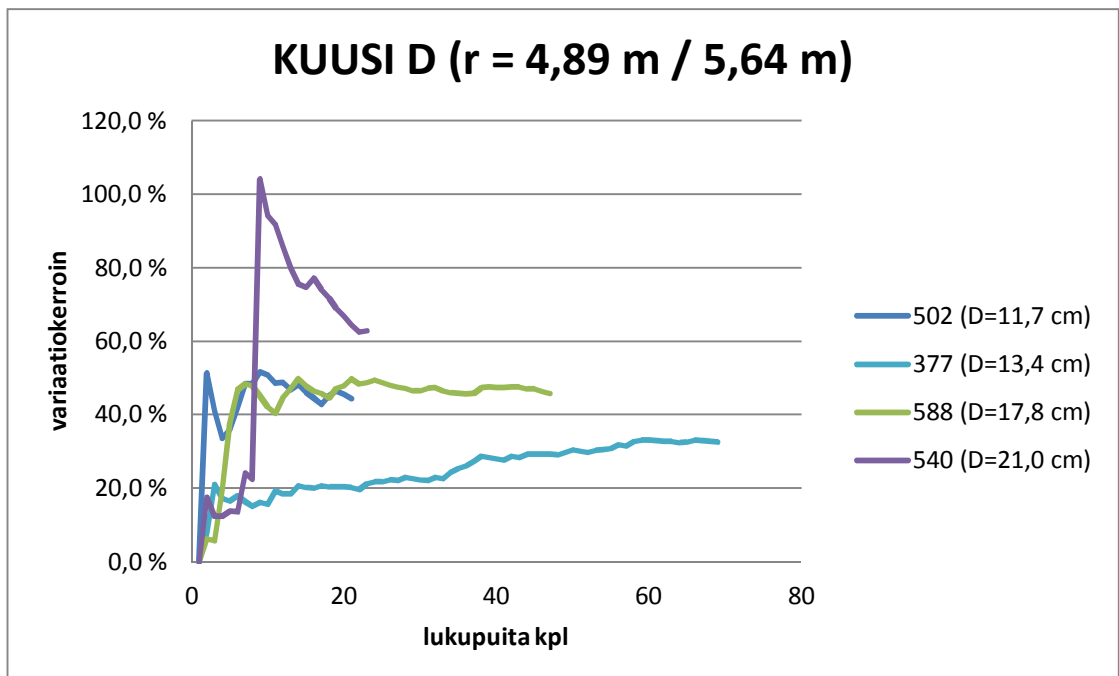
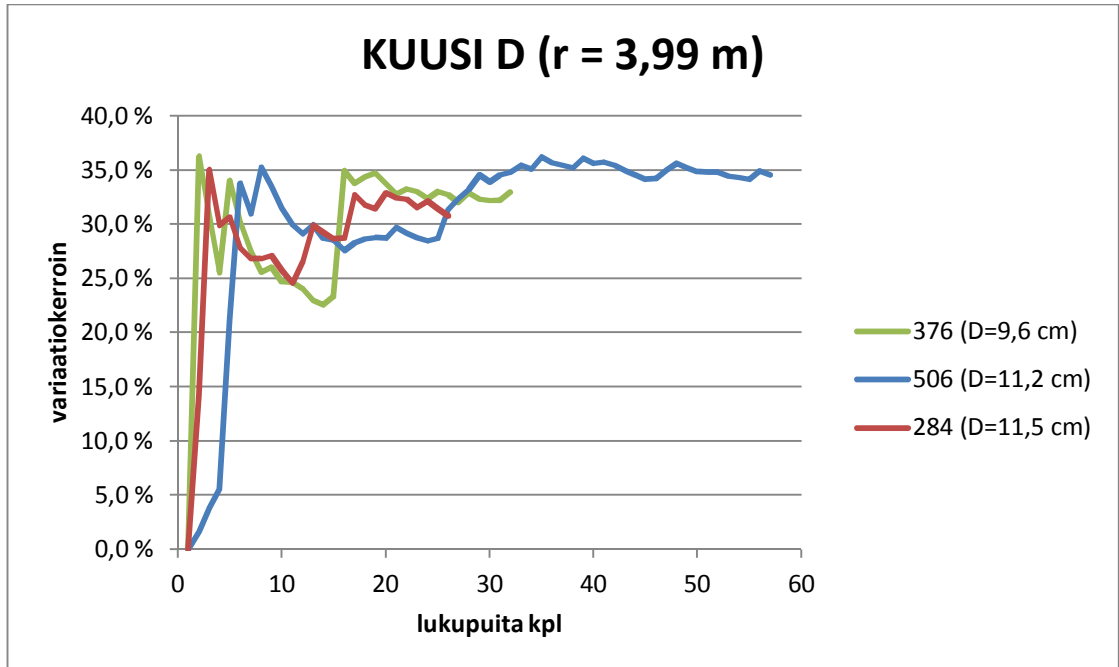
Liite 2 (1). Aritmeettisen keskiläpimitan variaatiokerroin muutos lukupuumäärän kasvaessa, ryhmitelty koelasäteen mukaan.



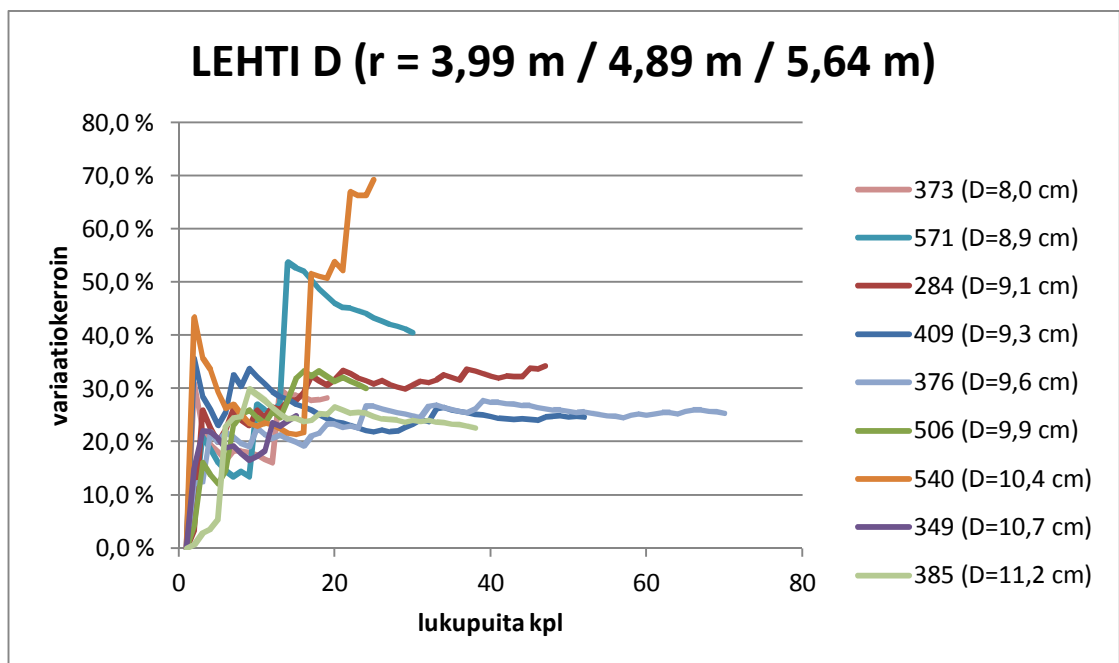
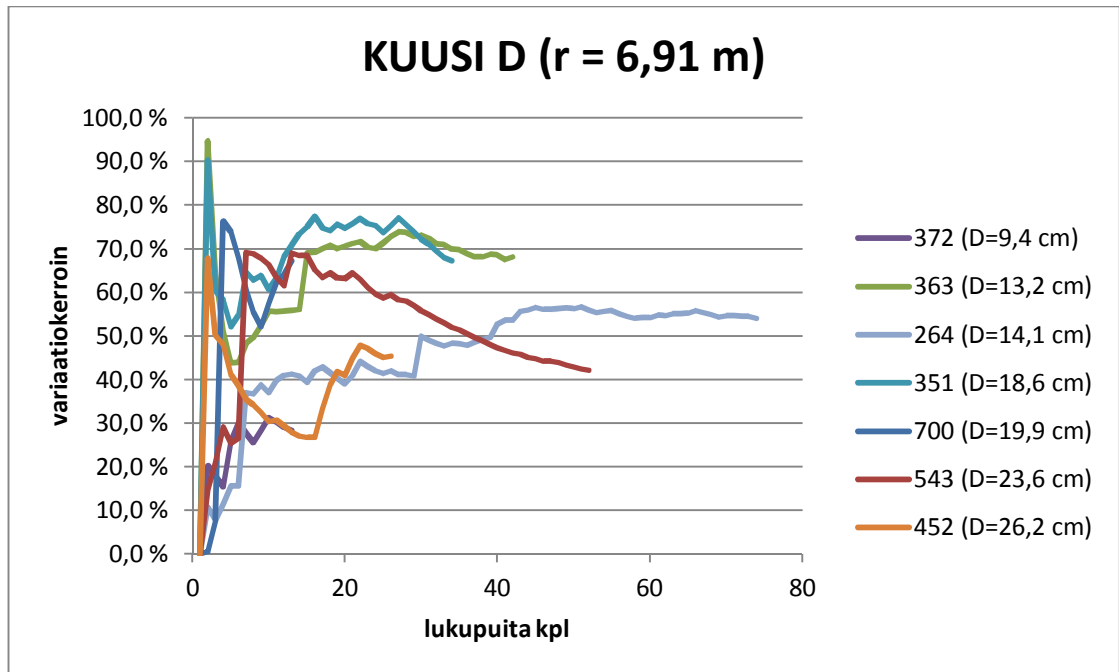
**Liite 2 (2). Aritmeettisen keskiläpimitan variaatioker-
toimen muutos lukupuumäärän kasvaessa,
ryhmitelty koelasäteen mukaan.**



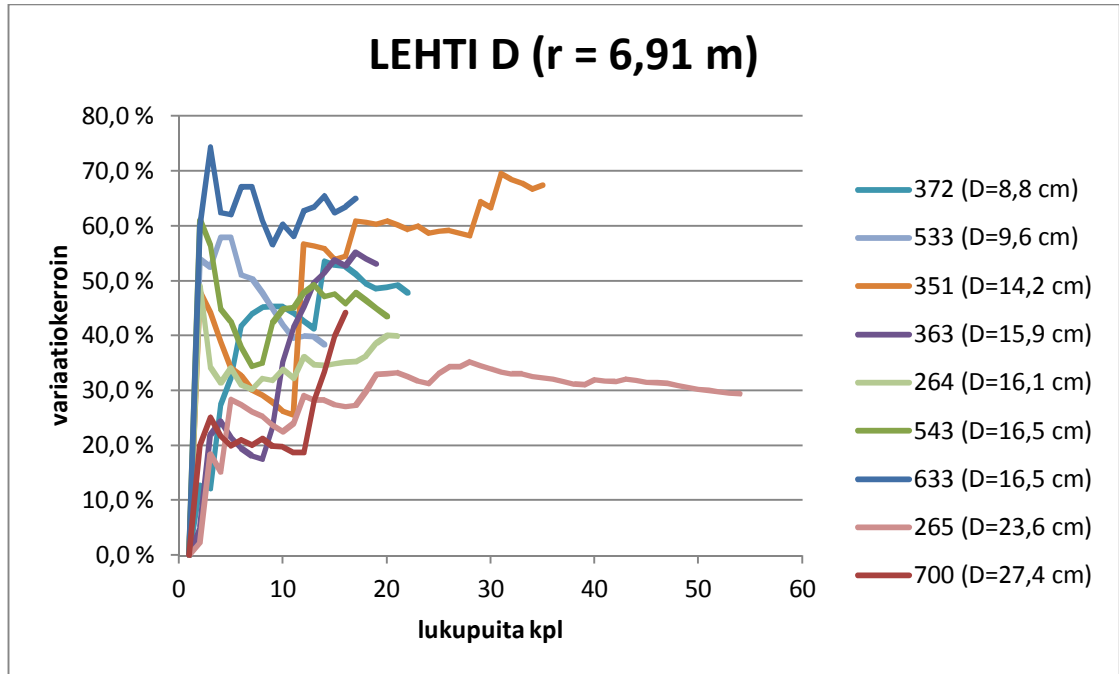
Liite 2 (3). Aritmeettisen keskiläpimitan variaatiokerroimen muutos lukupuumäärän kasvaessa, ryhmitelty koelasäteen mukaan.



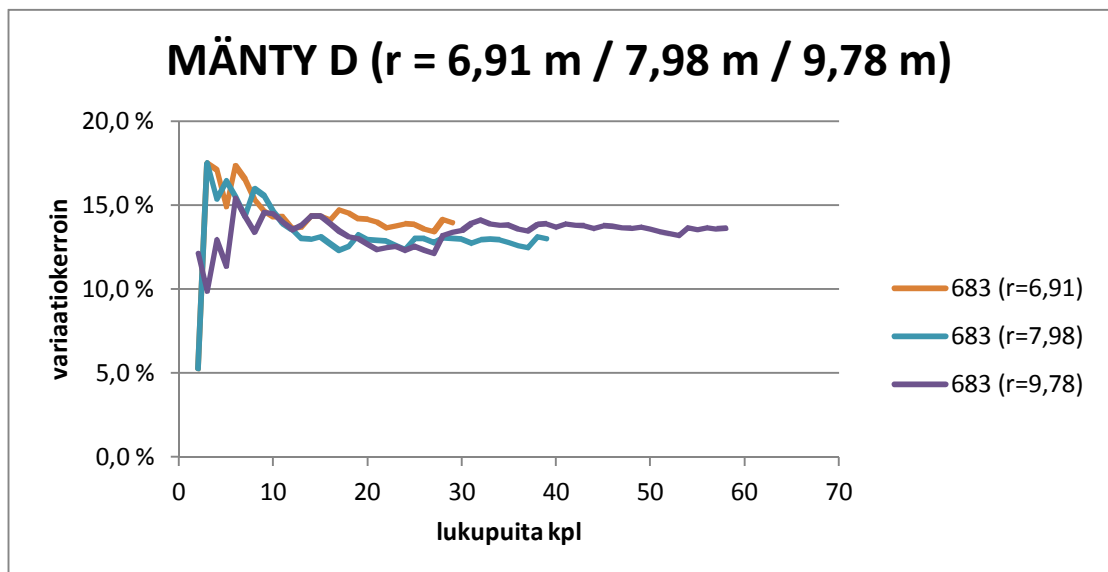
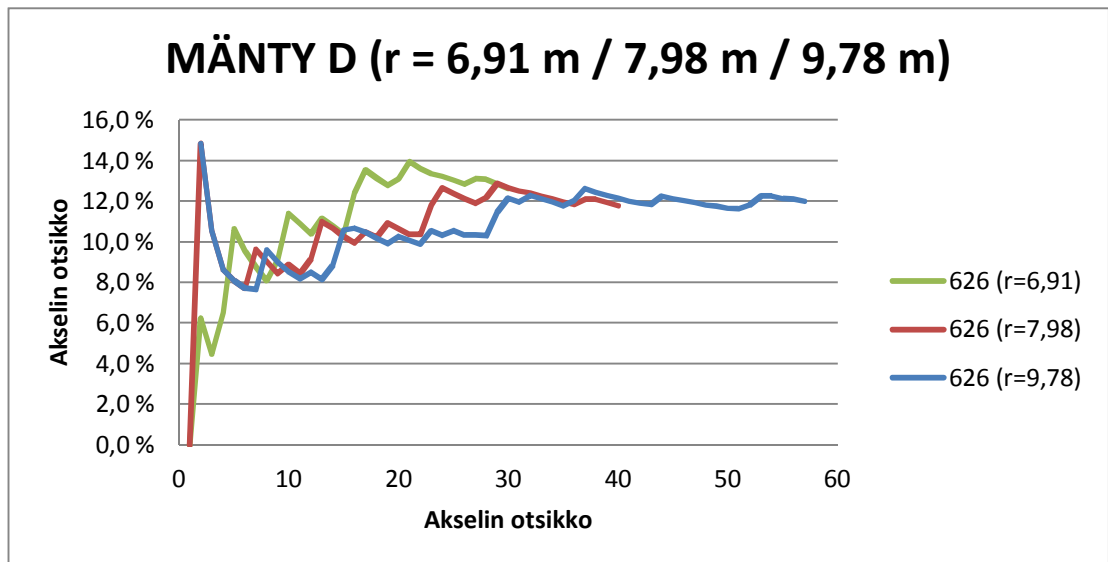
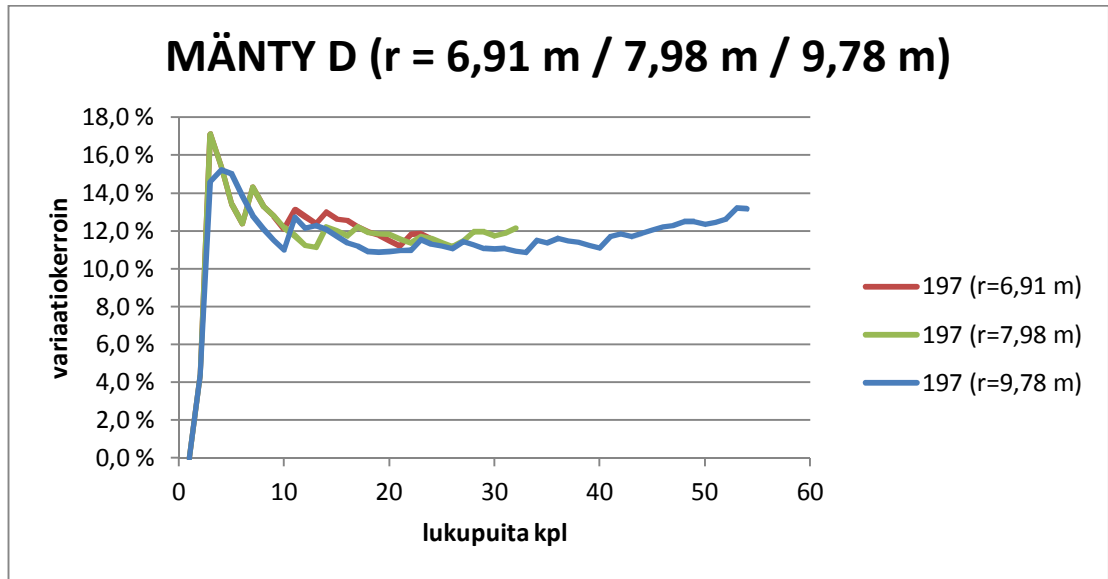
Liite 2 (4). Aritmeettisen keskiläpimitan variaatiokerroimen muutos lukupuumäärän kasvaessa, ryhmitelty koelasäteen mukaan.



**Liite 2 (5). Aritmeettisen keskiläpimitan variaatioker-
toimen muutos lukupuumäärän kasvaessa,
ryhmitelty koealasäteen mukaan.**



Liite 3. Aritmeettisen keskiläpimitan variaatiokerroimen muutos lukupuumäärän kasvaessa, kolme eri koelasädettä.



Liite 4 (1–4). Puustokuviokohtaiset mittaustiedot ja keskiruuhet (otantavirheet).

pkuvio	pkuvio m2	mitattu m2	mitattu %	koealoja kpl	koeala m2
197	5 021	1 803	35,9 %	6	300
225	5 029	999	19,9 %	10	100
239	3 973	601	15,1 %	8	75
259	7 168	1 500	20,9 %	10	150
264	4 993	1 050	21,0 %	7	150
265	9 868	1 200	12,2 %	8	150
284	4 340	450	10,4 %	9	50
286	5 057	450	8,9 %	9	50
288	3 004	450	15,0 %	9	50
307	5 283	899	17,0 %	9	100
313	3 317	500	15,1 %	10	50
314	4 162	500	12,0 %	10	50
349	6 222	400	6,4 %	8	50
351	3 572	750	21,0 %	5	150
363	5 693	900	15,8 %	6	150
372	5 779	1 050	18,2 %	7	150
373	7 508	400	5,3 %	8	50
376	3 564	500	14,0 %	10	50
377	4 526	451	10,0 %	6	75
385	4 063	450	11,1 %	9	50
397	5 443	751	13,8 %	10	75
407	5 951	500	8,4 %	10	50
409	9 676	450	4,7 %	9	50
438	4 758	601	12,6 %	8	75
452	4 222	1 200	28,4 %	8	150
490	6 139	1 200	19,5 %	8	150
500	7 069	500	7,1 %	10	50
502	8 405	751	8,9 %	10	75
506	5 045	450	8,9 %	9	50
533	4 600	1 050	22,8 %	7	150
540	5 484	999	18,2 %	10	100
543	4 027	1 500	37,2 %	10	150
545	7 176	500	7,0 %	10	50
554	3 913	899	23,0 %	9	100
556	9 366	751	8,0 %	10	75
565	5 849	1 500	25,6 %	10	150
571	5 053	751	14,9 %	10	75
588	3 376	676	20,0 %	9	75
606	5 901	1 350	22,9 %	9	150
611	5 129	999	19,5 %	10	100
617	5 537	1 200	21,7 %	8	150
623	4 020	1 200	29,9 %	8	150
626	6 492	1 803	27,8 %	6	300
633	5 387	1 350	25,1 %	9	150
652	6 632	999	15,1 %	10	100
683	4 249	2 103	49,5 %	7	300
700	4 198	1 500	35,7 %	10	150
MIN	3 004	400	4,7 %	5	50
MAX	9 868	2 103	49,5 %	10	300
KESKIARVO	5 431	912	17,9 %	9	111
MEDIAANI	5 057	899	15,8 %	9	100

pkuvio	V m3/ha	otantavirhe V	V m3/ha MÄ	otantavirhe V MÄ	V m3/ha KU	otantavirhe V KU	V m3/ha LE	otantavirhe V LE
197	255,2	9,0 %	252,8	9,5 %	0,1		2,3	73,5 %
225	196,6	8,2 %	186,6	9,0 %	4,9	40,8 %	5,1	10,0 %
239	139,5	7,7 %	137,9	8,2 %			1,7	
259	278,5	8,7 %	258,0	10,1 %	2,3	46,1 %	18,1	38,6 %
264	429,6	9,1 %	245,0	25,6 %	126,2	21,6 %	58,3	25,5 %
265	421,1	11,1 %	112,2	34,8 %	41,3	33,0 %	267,6	18,7 %
284	120,4	13,9 %	37,0	36,5 %	36,5	19,7 %	46,9	24,5 %
286	46,5	9,5 %	41,2	11,7 %	2,0	25,9 %	3,2	13,7 %
288	5,9	18,7 %	5,6	19,7 %			0,4	20,3 %
307	293,4	14,1 %	242,0	20,0 %	6,9	54,3 %	44,5	17,5 %
313	149,5	12,7 %	148,8	12,6 %			0,8	
314	29,0	12,9 %	27,8	13,0 %	1,2	4,9 %	0,1	
349	157,0	10,6 %	134,8	15,9 %	2,7	20,9 %	19,4	28,2 %
351	424,3	10,5 %	124,4	26,8 %	184,3	20,9 %	115,5	26,1 %
363	497,7	19,9 %	342,0	20,4 %	91,5	34,3 %	64,2	31,6 %
372	254,6	6,6 %	233,2	5,7 %	11,5	54,0 %	9,9	21,0 %
373	139,7	10,1 %	118,3	12,3 %	7,1	11,8 %	14,3	39,5 %
376	97,4	8,2 %			31,9	23,7 %	65,5	7,4 %
377	281,0	10,2 %	71,3	16,1 %	197,0	12,6 %	12,6	8,4 %
385	106,1	6,2 %	45,8	33,4 %	2,4	7,0 %	58,0	12,7 %
397	138,6	11,4 %	138,2	11,4 %	0,4	8,0 %		
407	167,0	14,4 %	159,8	11,0 %	4,0	13,9 %	3,2	17,3 %
409	54,6	11,7 %	11,7	32,0 %	0,4		42,6	11,9 %
438	153,5	8,2 %	153,1	8,3 %			0,4	
452	462,7	13,0 %	192,7	18,6 %	169,5	23,2 %	100,5	21,4 %
490	262,4	6,7 %	244,9	5,7 %			17,5	23,0 %
500	41,5	19,8 %	41,5	19,8 %				
502	277,5	10,8 %	250,9	11,1 %	26,3	29,6 %	0,3	8,3 %
506	160,0	8,9 %	42,7	19,0 %	89,2	17,0 %	28,1	25,2 %
533	140,1	11,5 %	133,0	11,3 %	0,4	46,3 %	6,7	47,8 %
540	296,7	11,1 %	156,5	21,4 %	112,2	23,7 %	28,1	27,9 %
543	302,6	7,4 %	64,1	18,8 %	202,7	13,9 %	35,8	24,9 %
545	104,4	11,7 %	101,8	12,6 %			2,6	23,0 %
554	277,8	13,0 %	270,9	13,4 %	6,9			
556	198,7	8,1 %	195,5	8,5 %	0,1		3,1	51,1 %
565	279,6	12,1 %	276,1	12,4 %	2,7	25,5 %	0,7	20,4 %
571	117,2	15,2 %	99,4	11,9 %			17,8	39,0 %
588	551,4	14,5 %	173,0	13,8 %	224,0	16,8 %	154,5	17,9 %
606	234,5	12,0 %	224,6	10,9 %			9,9	58,8 %
611	176,6	11,0 %	176,6	11,0 %				
617	247,6	5,0 %	241,5	6,0 %			6,1	53,3 %
623	248,5	10,5 %	248,5	10,5 %				
626	156,8	6,4 %	153,9	7,0 %			2,9	
633	260,7	6,9 %	219,6	11,0 %			41,1	39,8 %
652	146,3	12,3 %	136,4	12,9 %			10,0	24,8 %
683	173,2	5,6 %	167,1	6,3 %	0,4	25,5 %	5,8	50,4 %
700	270,1	8,2 %	141,5	13,0 %	41,0	29,6 %	87,6	25,9 %
MIN	5,9	5,0 %	5,6	5,7 %	0,1	4,9 %	0,1	7,4 %
MAX	551,4	19,9 %	342,0	36,5 %	224,0	54,3 %	267,6	73,5 %
KESKIARVO	217,5	10,8 %	156,1	15,0 %	50,9	25,2 %	33,7	27,8 %
MEDIAANI	196,6	10,6 %	153,5	12,5 %	7,0	23,4 %	13,5	24,8 %

pkuvio	Dg cm	otantavirhe Dg	Dg cm MÄ	otantavirhe Dg MÄ	Dg cm KU	otantavirhe Dg KU	Dg cm LE	otantavirhe Dg LE
197	31,2	4,1 %	31,3	3,4 %	8,5		20,1	
225	23,9	4,4 %	24,2	3,6 %	25,2		13,5	1,7 %
239	16,4	7,5 %	16,4	7,5 %			14,4	
259	27,3	5,8 %	27,8	3,8 %	10,5	6,7 %	24,9	5,3 %
264	26,2	10,0 %	30,1	5,1 %	22,4	9,0 %	20,7	8,9 %
265	28,1	7,3 %	30,9	3,6 %	26,0	7,8 %	27,5	6,4 %
284	12,8	7,3 %	14,2	6,5 %	13,5	7,1 %	11,2	6,9 %
286	8,2	6,9 %	8,4	6,6 %	6,5	4,8 %	7,3	7,8 %
288	4,3	9,1 %	4,4	7,4 %			1,7	7,8 %
307	24,6	6,2 %	24,5	4,2 %	16,9	7,3 %	27,2	4,9 %
313	13,5	5,8 %	13,5	5,8 %			8,8	
314	8,7	7,0 %	8,9	7,0 %	6,3	5,5 %	3,8	
349	14,0	7,7 %	14,6	6,9 %	6,6	5,3 %	11,9	6,0 %
351	33,8	12,5 %	40,6	3,6 %	33,7	11,6 %	27,6	10,5 %
363	31,4	12,8 %	34,7	3,6 %	26,8	9,0 %	23,4	11,3 %
372	26,5	11,5 %	27,6	6,6 %	24,8	6,4 %	13,5	7,4 %
373	12,8	7,5 %	13,1	6,8 %	14,5	7,3 %	9,4	6,2 %
376	11,2	5,3 %			12,0	5,6 %	10,9	5,1 %
377	17,7	10,0 %	24,4	3,9 %	15,9	8,9 %	10,8	7,4 %
385	14,3	6,0 %	17,0	7,0 %	10,7		12,3	5,0 %
397	20,6	4,9 %	20,7	3,7 %	7,1	2,5 %		
407	18,0	6,0 %	18,3	5,8 %	11,9	4,1 %	13,4	
409	10,9	6,3 %	13,7	7,7 %	7,7		10,4	5,8 %
438	18,4	4,3 %	18,4	4,0 %			7,6	
452	37,0	7,1 %	42,1	4,6 %	34,4	7,8 %	32,9	6,5 %
490	32,2	6,4 %	32,5	4,2 %			28,0	11,3 %
500	13,5	8,5 %	13,5	8,5 %				
502	22,5	7,5 %	23,4	5,5 %	15,8	8,1 %	6,3	
506	13,8	7,3 %	15,5	6,2 %	13,7	7,5 %	11,5	6,8 %
533	21,6	8,2 %	22,4	3,7 %	9,6		12,7	6,9 %
540	32,5	10,5 %	34,7	4,5 %	32,9	9,9 %	21,2	6,7 %
543	28,8	6,9 %	29,2	2,2 %	30,0	6,9 %	21,9	6,8 %
545	14,3	7,2 %	14,5	6,9 %			7,9	5,6 %
554	31,8	4,6 %	31,9	4,7 %	28,3			
556	21,8	5,1 %	21,9	3,9 %	5,4		15,2	8,8 %
565	32,8	10,0 %	33,6	3,1 %	10,6	5,5 %	6,5	2,7 %
571	20,2	9,2 %	22,0	3,6 %			13,0	4,6 %
588	29,9	8,6 %	37,3	3,3 %	25,3	7,8 %	30,2	6,4 %
606	30,9	2,9 %	30,5	1,8 %			38,6	11,0 %
611	26,2	2,8 %	26,2	2,8 %				
617	28,5	4,0 %	28,6	2,9 %			24,1	9,5 %
623	31,4	2,7 %	31,4	2,7 %				
626	25,4	3,0 %	25,4	3,1 %			25,6	
633	26,0	5,9 %	25,7	3,9 %			27,8	9,9 %
652	23,3	4,7 %	23,5	4,6 %			21,2	5,9 %
683	27,6	5,6 %	27,7	2,9 %	6,8	3,8 %	27,3	6,7 %
700	34,0	6,4 %	33,8	2,7 %	32,7	9,3 %	34,9	7,0 %
MIN	4,3	2,7 %	4,4	1,8 %	5,4	2,5 %	1,7	1,7 %
MAX	37,0	12,8 %	42,1	8,5 %	34,4	11,6 %	38,6	11,3 %
KESKIARVO	22,6	6,8 %	24,0	4,7 %	17,3	7,0 %	17,6	7,0 %
MEDIAANI	23,9	6,9 %	24,4	4,1 %	14,1	7,3 %	14,0	6,8 %

pkuvio	H m	otantavirhe H	H m MÄ	otantavirhe H MÄ	H m KU	otantavirhe H KU	H m LE	otantavirhe H LE
197	25,1	3,2 %	25,2	2,5 %	6,6		18,7	
225	20,8	3,7 %	21,0	3,4 %	16,1		18,7	1,9 %
239	12,6	3,5 %	12,6	3,5 %			13,1	
259	24,8	5,3 %	25,3	2,7 %	9,6	7,1 %	23,8	5,1 %
264	23,2	9,0 %	25,7	2,8 %	18,6	7,9 %	26,0	7,1 %
265	27,1	6,0 %	29,8	1,7 %	19,7	5,8 %	27,6	4,0 %
284	12,1	3,5 %	12,4	2,4 %	10,9	2,9 %	13,0	3,4 %
286	7,6	5,2 %	7,7	4,9 %	6,2	3,5 %	7,6	6,1 %
288	3,2	4,6 %	3,2	4,5 %			2,8	3,9 %
307	23,4	5,2 %	23,4	3,0 %	15,6	7,3 %	25,3	3,8 %
313	13,0	3,3 %	13,0	3,3 %			13,1	
314	6,1	4,8 %	6,1	4,9 %	5,4	3,4 %	4,8	
349	12,3	5,5 %	12,6	4,4 %	7,0	4,3 %	11,5	4,0 %
351	25,2	9,9 %	28,1	1,4 %	23,8	9,9 %	25,0	8,7 %
363	27,0	12,6 %	29,3	2,3 %	21,3	9,1 %	26,0	11,2 %
372	21,0	10,6 %	22,1	4,6 %	13,8	6,0 %	13,4	6,8 %
373	11,4	2,1 %	11,4	2,1 %	10,5	1,9 %	11,7	2,2 %
376	12,4	3,6 %			11,8	3,7 %	12,6	3,3 %
377	16,6	6,0 %	18,7	1,4 %	16,2	5,4 %	14,0	4,8 %
385	13,1	2,3 %	12,3	1,6 %	11,3		13,9	1,3 %
397	19,1	5,0 %	19,2	3,5 %	4,6	2,9 %		
407	15,6	3,1 %	15,8	2,7 %	12,2	2,2 %	12,9	
409	11,1	6,1 %	13,3	7,4 %	6,4		10,7	5,6 %
438	16,5	1,5 %	16,5	1,3 %			12,0	
452	29,1	5,9 %	31,9	2,6 %	26,9	6,9 %	28,0	5,4 %
490	22,6	3,9 %	22,7	1,3 %			22,2	8,2 %
500	9,0	6,0 %	9,0	6,0 %				
502	19,1	5,8 %	19,7	3,2 %	14,6	6,8 %	6,6	
506	12,7	4,4 %	12,8	3,2 %	12,4	4,5 %	13,3	4,3 %
533	18,8	7,5 %	19,4	3,0 %	7,0		12,7	7,2 %
540	23,7	9,4 %	25,1	2,7 %	23,0	9,5 %	20,0	6,4 %
543	24,0	5,1 %	22,8	1,2 %	24,5	5,5 %	23,1	5,7 %
545	13,0	2,9 %	13,0	2,9 %			12,6	3,0 %
554	23,0	2,4 %	23,0	2,5 %	21,4			
556	16,9	3,6 %	17,0	2,4 %	4,8		13,3	7,5 %
565	28,8	9,9 %	29,5	2,1 %	9,3	6,0 %	6,9	3,1 %
571	17,3	6,0 %	18,3	1,3 %			13,2	3,1 %
588	26,1	7,2 %	31,6	1,7 %	22,4	6,4 %	26,9	4,6 %
606	22,4	1,8 %	22,4	0,9 %			23,5	8,5 %
611	21,6	1,5 %	21,6	1,5 %				
617	21,7	2,3 %	21,7	1,2 %			19,7	6,6 %
623	24,8	1,4 %	24,8	1,4 %				
626	21,4	0,7 %	21,3	0,7 %			22,5	
633	23,8	4,4 %	23,6	2,4 %			24,7	8,6 %
652	19,2	3,0 %	19,3	2,9 %			18,2	4,6 %
683	22,6	4,6 %	22,7	1,7 %	6,9	3,9 %	22,1	5,5 %
700	27,0	5,5 %	27,4	1,3 %	24,0	8,5 %	28,1	5,6 %
MIN	3,2	0,7 %	3,2	0,7 %	4,6	1,9 %	2,8	1,3 %
MAX	29,1	12,6 %	31,9	7,4 %	26,9	9,9 %	28,1	11,2 %
KESKIARVO	18,9	4,9 %	19,7	2,7 %	13,9	5,7 %	17,0	5,3 %
MEDIAANI	20,8	4,6 %	21,2	2,5 %	12,3	5,8 %	13,9	5,2 %

(huom. keskvirheitä puuttuu, koska havaintoja ei ollut riittävästi niiden laskemiseen)

Liite 5. Ehdotus päivitetyksi mittausohjeksi (vrt. UPM Metsä 2010).