
**Varkauden laserkeilausaineistosta laaditun
prosenttipistemallin käytettävyys Evolla**



Opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evon yksikkö 31.7.2009

Antti Komulainen



Metsätalouden koulutusohjelma
Saarelantie 1
16970 Evo

Työn nimi Varkauden laserkeilausaineistosta laaditun prosenttipistemallin
käytettävyys Evolla

Tekijä Antti Komulainen

Ohjaava opettaja Risto Viitala

Hyväksytty _____ . _____ . 20 _____

Hyväksyjä Timo Hokka

HÄMEENLINNA
Metsätalouden koulutusohjelma

Tekijä Antti Komulainen **Vuosi** 2009

Työn nimi Varkauden laserkeilausaineistosta laaditun prosenttipistemallin käytettävyys Evolla

Työn säilytyspaikka HAMK, Evon yksikkö

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Varkauden alueelle luodun prosenttipistemallin käytettävyys Evon alueella. Hämeen ammattikorkeakoulun Evon yksikön opetusmetsän alueella tehtiin laserkeilaus kesällä 2006 sekä keilaukseen liittyvät maastomittaukset kesällä 2007. Keilauksesta saadusta aineistosta laskettiin puustotunnukset koaloille prosenttipistemallin avulla. Saatuja puustotunnuksia verrattiin maastomittauksista saatuihin todellisiin arvoihin.

Tutkimuksessa todettiin, että Varkaudessa luotu prosenttipistemalli ei ole käyttökelpoinen Evon alueella. Puuston tilavuuden suhteellinen keskivirhe oli 28,4 prosenttia. Pohjapinta-alan suhteellinen keskivirhe oli 26,6 prosenttia. Keskipituuden suhteellinen keskivirhe oli 13,0 prosenttia. Tilavuuden ja pohjapinta-alan keskivirheet ylittävät SOLMU-perusteisella metsien arvioinnilla saavutettavat puustotietojen keskivirheet.

Asiasanat keskivirhe, laserkeilaus, prosenttipistemalli puuston arviointi, regressiomalli

Sivut 17 s.

HÄMEENLINNA
Degree programme of Forestry

Author Antti Komulainen **Year** 2009

Subject of Bachelor's thesis Usability of percentage point model in Evo composed from laser scanning data of Varkaus scanning

Archives HAMK University of Applied Sciences, Evo unit

ABSTRACT

The purpose of this research was to test the usability of percentage point model in Evo composed from data of Varkaus airborne laser scanning. In Evo area the airborne laser scanning was done in 2006. Field data from sample plots was collected in 2007. Percentage point model was used to calculate forest stand variables from the airborne laser scanning data for individual sample plots. Extracted forest stand variables were compared to the real values calculated from the field data.

Research revealed that the percentage point model of Varkaus is not valid in Evo area. The relative standard of error for volume of timber was 28,4 percent. The relative standard of error for basal area was 26,6 percent. The relative standard of error for standard height was 13,0 percent. The standard errors of volume and basal area exceeded standard error for SOLMU based forest evaluation.

Keywords airborne laser scanning, percentage point model, regression model, root mean square error

Pages 17 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LASERKEILAUKSEN TAUSTAA	2
3	AINEISTO.....	3
3.1	Tutkimusalue.....	3
3.2	Laserkeilausaineisto	3
3.3	Maastoaineisto.....	3
3.4	Prosenttipistemalli.....	4
4	MENETELMÄT.....	5
4.1	Maastomittaus	5
4.2	Puustotietojen käsittely	7
4.3	Laserkeilausdatan käsittely	7
5	TULOKSET	8
6	POHDINTA.....	10
7	KEHITTÄMISIDEAT JA JATKOTUTKIMUS	10
7.1	Maastomittauksen kehittäminen.....	10
7.2	Jatkotutkimukset.....	11
8	LÄHTEET	11

1 JOHDANTO

Laserkeilaus on verrattain uusi kaukokartoitusmenetelmä, jossa puustotunnuksia voidaan ennustaa ilma-aluksen avulla mitatulla laserpisteaineistolla. Laserpisteaineistosta regressiomalleilla ennustamalla voidaan jo nyt saavuttaa pienempi keskivirhe verrattuna tavalliseen SOLMU-tietosisältöiseen metsien arviointiin. Regressiomalleja on kehitetty aiemmin Norjassa ja myös Suomessa (Suvanto ym. 2005). Tässä tutkimuksessa on käytetty Varkauden alueella tehtyä prosenttipistemallia. Prosenttipistemallin toimivuutta tutkimusalueen ulkopuolisilla alueilla ei tiedettävästi ole Suomessa virallisissa tutkimuksissa tutkittu.

Hämeen ammattikorkeakoulun Evon yksikössä on erikoistuttu paikkatiedon ja kaukokartoituksen opetukseen. Laserkeilaus on uutena tekniikkana kiinnostava aihealue Evon metsätalouden yksikön kannalta. Evolla tehtiin kesällä 2006 laserkeilaus ja kesällä 2007 laserkeilaukseen liittyvät maastomittaukset. Aloitin opinnäytetyön tekemisen aiheesta talvella 2007 Risto Viitalan ohjauksessa. Uuden tekniikan takia päämäärä oli alussa epäselvä, koska tekniikan mahdollisuuksia ja rajoitteita ei vielä tunnettu kovin tarkoin. Alkuperäinen suunnitelma oli tehdä tutkimus puuston pituuden mitauksesta laseraineiston avulla käyttämällä yksinpuintulkintaa. Myöhemmin selvisi, että yksinpuintulkinta vaatii tarkempaa aineistoa kuin mitä Evolla oli käytettävissä. Jouduin vaihtamaan aihetta ja se muokkautui lopulta Varkaudessa käytetyn prosenttipistemallin testaukseen Evon puustolla.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää onko Varkauden alueella luotu prosenttipistemalli käyttökelpoinen Evon alueella ja mikä sen tarkkuus on. Laseraineisto on tekstimuotoista raakadataa ja sen muokkaaminen tutkimuksessa käytettyjen ohjelmien ymmärtämään muotoon aiheutti ongelmia suuren tiedostokoon lisäksi. Koululla käytössä olevat tietokoneet eivät pystyneet käsittelemään tiedostoja ilman virtuaalimuistin laajennusta. Suuri koealojen määrä ja ohjelmointitaitojen puute hidasti aineiston työstöä ja puustotietojen laskentaa.

Vuoden 2006 laserkeilauksesta tehdyistä opinnäytetöistä saadaan arvokasta kokemusta jatkoa varten. Kesällä 2009 tehdään uusi laserkeilaus ja maastomittaukset. Uuden aineiston työstö on helpompaa aiempien kokemusten perusteella. Tämäkin opinnäyte on arvokasta tietoa uuden teknologian käyttöönotossa.

2 LASERKEILAUKSEN TAUSTAA

Laserkeilausta on käytetty aiemmin maastonmallintamiseen ja lähinnä rakennustekniikan apuvälineenä. Metsien inventoinnissa laserkeilaus on verrattain uusi väline. Ennen laserkeilausta on metsätaloudessa käytetty muun muassa satelliittikuviin perustuvia kaukokartoitusmenetelmiä. Laserkeilausten tai laserteknologiaan perustuvan tutkan käyttöä metsän inventoinnissa on tutkittu jo 1980-luvulta lähtien. Nelson selvitti jo 1984, että laser-tutkalla on mahdollista mitata puustotunnuksia (Nelson ym. 1984). Suomessa aihetta on tutkittu 1990-luvulta lähtien. Esimerkiksi Hyypä selvitti tutkimuksessaan 1999 yksinpuintulkinnan mahdollisuuksia laserkeilaustekniikalla (Hyypä 1999).

Laserkeilauksessa ilma-alukseen kiinnitetty laserkeilain lähettää ja vastaanottaa laserpulsseja. Kohteista heijastuneiden laserpulssien matkajasta lasketaan kohteen etäisyys ilma-aluksesta. Ilma-aluksessa on tarkat gps- sekä inertiamittauslaitteet, joiden avulla aluksen tarkka sijainti voidaan laskea. Kun aluksen sijainti sekä kohteen etäisyys ja -suunta tunnetaan, voidaan kaiulle laskea x-, y- ja z-koordinaatit. Samasta laserpulsista voidaan saada useita kaikuja. Usein säde heijastuu osittain takaisin esimerkiksi puiden lehvästöstä. Osa säteistä ei anna lainkaan kaikua, vaan säde siroaa tai absorboituu täysin esimerkiksi veden pinnasta. Ilma-aluksena käytetään tarpeen mukaan lentokonetta tai helikopteria. Mitä tarkempaa aineistoa tarvitaan, sitä matalammalla ja hitaammin keilausaluksen täytyy lentää. Lentokoneella on minimilentonopeus joten helikopterin käyttö on pakollista tarkimmilla aineistoilla.

Laserkeilauksessa on olemassa kaksi erilaista tulkintatapaa. Yksinpuintulkinnassa pyritään erottamaan yksittäiset puiden latvukset ja niistä saatavien tunnuksien kautta lasketaan kokonaisen metsikön puustotiedot. Yksinpuintulkinnassa on vaatimuksena riittävän tiheäpulssinen laserkeilausaineisto. Minimivaatimus pulssitiheydelle on 5 pulssia neliometrillä (Hyypä 1999). Toinen lähestymistapa on laseraineiston perusteella luotuihin regressiomalleihin perustuva puustotunnuksien ennustaminen. Koealoilta mitattujen puustotunnuksien avulla luodaan regressioyhtälöt, joilla voidaan laskea pisteaineiston tunnuksista puustotiedot. Yhtälöitä voidaan käyttää myös kuvioittaiseen tulkintaan. Regressiolähestymistapa onnistuu myös harvapulssisella aineistolla, jonka pistetiheys on alle 5 pulssia neliometrillä. (Suvanto ym. 2005)

Regressiomalleja on käytetty Norjassa jo aiemmin, mutta ensimmäinen regressiotekniikkaan perustuva tutkimus Suomessa on tehty vasta vuonna 2005 (Suvanto ym. 2005). Regressiomalleilla on saavutettu hyviä tuloksia puustotunnuksien ennustamisessa. Ongelmana menetelmässä on mallien paikallisuus. Mallit toimivat parhaiten mallin luonnissa käytettyä aluetta vastaavalla alueella. Tutkimuksissa onkin luotu tarkkuuden parantamiseksi erilaisia malleja erilaisille metsiköille esimerkiksi kehitysluokan tai kasvupaikan mukaan (Næsset 2004).

3 AINEISTO

3.1 Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsee Hämeenlinnassa, Evolla. Alue koostuu Metsähallituksen omistamasta retkeilyalueesta, jossa sijaitsee Hämeen ammattikorkeakoulun Evon yksikön opetusmetsä. Laserkeilaus kattaa koko opetusmetsän alueen. Tutkimusalueen pinta-ala on noin 2000 hehtaaria, josta osa on vesistöä ja yksityisten maanomistajien maita. Yksityisten omistamille maille ei tehty koealoja.

3.2 Laserkeilausaineisto

Laserkeilauksen teki Blom Kartta Oy kesällä 2006. Koko tutkimusalue keilattiin 1900 metrin korkeudesta, jolloin laserhavainnot saatiin 0,88 pistettä neliometriä kohti. Osa alueesta lennettiin 800 metrin korkeudelta, jolloin laserhavainnot saatiin 2,65 pistettä neliometriä kohti. Tässä tutkimuksessa käytettiin ainoastaan koko tutkimusalueen kattavaa korkeammalta keilattua aineistoa. (Blom Kartta Oy 2009)

Aineisto on jaettu lohkoihin, joita on tutkimusalueella 35 kappaletta. Jokainen lohko on pinta-alaltaan 100 hehtaaria. Alueen ylitse kulkee 8 kappaletta 45 kilometriä pitkiä lentolinjoja, joista jokaisella on keilattu yksi lohkoruutujen rivistö. Keilattu alue on huomattavasti tutkimusaluetta isompi, mutta toimitettu aineisto kattaa vain opetusmetsän alueen.

Laserkeilaus lennettiin Piper Navajo pienlentokoneella. Lentonopeus oli 75 metriä sekunnissa. Lentokoneessa oli Applanix POS/AV5100 gps- ja inertiamittauslaitteisto. Paikannustietojen korjauksessa käytettiin GPSNet-palvelun Hämeenlinnan tukiaseman korjaustietoja. Laserkeilain oli merkittään Optech ALTM3100C-EA. Laitteen vertikaalinen tarkkuus 1900 metrin korkeudessa on alle 15 senttimetriä ja horisontaalinen tarkkuus alle 40 senttimetriä. Keilaimen pulssitaajuus oli 70 kHz, avauskulma oli 14 astetta ja keilan leveys 1090 metriä. Keilauksessa eroteltiin toisistaan ainoat, ensimmäiset, viimeiset ja välikaiut. Kaiuista tallennettiin x-, y ja z-koordinaatit, korkeus korkeusmallin pinnasta, intensiteetti, kaiun tyyppi ja lentolinja. (Blom Kartta Oy 2006)

3.3 Maastoaineisto

Maastoaineisto kerättiin vuonna 2007. Mittaajat olivat Hämeen ammattikorkeakoulun Evon yksikön harjoittelijoita. Maastomittaukset alkoivat toukokuussa ja ne saatiin päätökseen joulukuussa. Maastomittauksissa kerättiin puustotiedot 283 koealalta. Koealoja jouduttiin hylkäämään muun muassa laserkeilauksen jälkeen tehdyn puuston käsittelyn takia. Lopullinen aineisto sisältää 235 koealaa. Koealana käytettiin kiinteäalasta ympyräkoealaa, jonka säde oli 9,77 metriä.

Tutkimusalueelle luotiin koealahilasto säännöllisellä koealavälillä. Koealat jakoi ositteisiin Sakari Tuominen Metsäntutkimuslaitokselta. Osittaminen perustui opetusmetsän metsäsuunnitelman kuviotietoihin. Erilaisia ositteita oli 44. Koealoista arvottiin mitattavat koealat Excel-ohjelman satunnaislukupgeneraattorin avulla. Mittaus aloitettiin systemaattisesti alueittain, mutta kesken mittauksen havaittiin ajan loppuvan kesken. Lopulta tavoitteena oli saada mitattua kaikista ositteista vähintään 10 koealaa tai niin monta kuin ositteessa oli koealoja.

3.4 Prosenttipistemalli

Tutkimuksessa laskettiin laseraineiston perusteella puustotunnukset jokaiselle koealalle. Laskennassa käytettiin vuonna 2005 Varkauden Matalan-salossa tehdyn tutkimuksen yhteydessä luotua prosenttipistemallia. (Su-vanto, ym. 2005) Prosenttipistemalli tuottaa puustotunnukset käyttäen laseraineistosta laskettuja muuttujia. Näitä ovat laserpisteiden korkeusja-kaumasta lasketut prosenttipisteet, laserpisteiden korkeuksien keskiarvo ja kasvillisuusosuus. Laskennassa ei oteta huomioon alle kahden metrin korkeudella sijaitsevia pisteitä, koska vain sen yläpuolella sijaitsevien pisteiden voidaan olettaa heijastuneen puustosta. Prosenttipisteellä tarkoitetaan korkeusarvojen kertymäfunktioista alhaalta päin laskettua pisteiden korkeutta, jossa tietty prosentiosuus pisteiden korkeuskertymästä sijaitsee. Prosenttipiste lasketaan siten, että laserpisteet järjestetään ensin korkeuden (z -arvon) mukaan nousevaksi sarjaksi. Tämän jälkeen lasketaan kertymäfunktio korkeusarvoista. Prosenttipiste saadaan etsimällä se korkeusarvo, jonka kohdalla täyttyy prosenttipisteen mukainen (esimerkiksi 50 prosentin) kertymä. Prosenttipisteen tunnus on $p05...95$. Keskiarvo lasketaan aritmeettisena keskiarvona kahden metrin yläpuolella sijaitsevista havainnoista. Keskiarvon tunnus on $hmea$. Kasvillisuusosuus lasketaan jakamalla yli kahden metrin korkeudelle osuneiden havaintojen määrä koealalle osuneiden havaintojen kokonaismäärällä. Kasvillisuusosuuden tunnus on $vege$. Muuttujien lisäksi mallissa on kuvioiden välistä vaihtelua kuvaavan satunnaismuuttujan varianssiestimaatti sekä satunnainen virhetermi. Ohessa on esitetty prosenttipistemallin yhtälöt tilavuudelle (kaava 1), pohjapinta-alalle (kaava 2) ja keskipituudelle (kaava 3).

KAAVA 1 Puuston tilavuuden prosenttipistemalli

$$\ln(V) = 0,788 + 0,704 * \ln(Fp50) + 1,090 * \sqrt{Fvege} + 0,735 * \ln(Lhmea) + 0,267 * \ln(Lvege) + (0,00781 + 0,02887)/2$$

KAAVA 2 Puuston pohjapinta-alan prosenttipistemalli

$$\sqrt{PPA} = -0,795 + 1,329 * \ln(Fhmea) + 1,342 * Fvege + 2,270 * \sqrt{Lvege} - 1,773 * \frac{1}{Fp05} + (0,02987 + 0,13199)$$

KAAVA 3 Puuston keskipituuden prosenttipistemalli

$$\sqrt{HGM} = 0,950 + 0,594 * \sqrt{Fp80} + 0,055 * Fp60 + (0,00157 + 0,02877)$$

Laseraineistossa yksittäinen kaihu luokitellaan kaiun tyyppin mukaan ainoksi havainnoksi, ensimmäiseksi useasta havainnosta, välikaiuksi tai viimeiseksi monesta havainnosta. Kaiun tyyppejä vastaavat koodit ovat 0, 1, 2 ja 3. Tutkimuksessa käytetyssä prosenttipistemallissa jätettiin laskentojen ulkopuolelle 2-tyypin kaiut. Muista kaiuista muodostetaan First pulse ja Last pulse-ryhmät. First pulse -ryhmän muodostavat 0 ja 1-tyypin kaiut. Last pulse -ryhmän muodostavat 0 ja 3-tyypin kaiut. Näitä ryhmiä kuvataan mallissa tunnuksilla F ja L.

4 MENETELMÄT

4.1 Maastomittaus

Koealalle suunnistettiin peruskartalla ja gps-laitteella. Tarkka koealan keskipisteen valinta tehtiin Garmin CSX60-retkigps-laitteella. Koealan keskipisteen koordinaatit syötettiin laitteeseen ja laitteella navigoitiin keskipistettä kohti. Kun laite ilmoitti etäisyydeksi 0 metriä, oli koealan keskipiste tässä kohdassa. Jos etäisyydessä ei päästy 0 metriin noin viiden minuutin kuluessa, laskettiin etäisyysvaatimusta metri kerrallaan viiden minuutin välein kunnes koealan keskipiste löydettiin.

Keskipiste merkittiin maastoon 30 senttimetriä pitkällä oranssilla muoviputkella. Putken kirjoitettiin kirjain L sekä koealan numero spriiliukoisella tussilla. Putken pää jätettiin näkyviin maan pinnalle. Putken viereen maan alle työnnettiin lisäksi 100 millimetriä pitkä rautanaula. Näin keskipiste voidaan löytää myöhemmin metallinpaljastimella vaikka muoviputki olisi hävinnyt.

Koealan keskipisteestä mitattiin kolme kiintopistettä, joilla voidaan helpottaa keskipisteen löytämistä jälkikäteen. Kiintopisteiksi valittiin mahdollisimman pysyviä ja selkeitä kohteita. Kiintopisteeseen maalattiin spray-maalilla merkki. Talojen nurkat ja sähköpylväät olivat erinomaisia kiintopisteitä, mutta usein käytettiin kallioita ja suuria kiviä. Jos selkeitä kiintopisteitä ei ollut, tehtiin kiintopisteet koealan ulkopuolelta katkaistusta nuorista kuusenrungoista. Rungot kuorittiin vähintään kolmelta sivulta ja maalattiin punaiseksi. Jos koeala oli lähellä asutusta tai muuten näkyvällä paikalla, pyrittiin kiintopisteet tekemään mahdollisimman huomaamattomiksi ja ne jätettiin merkkaamatta maalilla. Kiintopisteiden kuvaukset sekä suunnat ja etäisyydet koealan keskipisteestä kirjattiin ylös. Lisäksi kirjattiin ylös koealan mittaaja ja mittauspäivämäärä.

Koealojen keskipisteet paikannettiin Trimble GeoXH-gpslaitteella. Laitteella päästään hyvissä olosuhteissa differentiaalikorjauksen avulla alle 30 senttimetrin paikannustarkkuuteen. Keskipisteestä otettiin vähintään 50

havaintoa. Saadut koordinaatit korjattiin jälkikäteen differentiaalikorjauksella. Korjausdata hankittiin GPSnet.fi-palvelusta.

Koealalta mitattiin kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 5 senttimetriä paksut elävät puut, joiden keskipiste oli enintään 9,77 metrin etäisyydellä koealan keskipisteestä. Puista mitattiin tai määritettiin seuraavat ominaisuudet; suunta keskipisteestä, etäisyys keskipisteestä, puulaji, latvuserros, rinnankorkeusläpimitta, pituus, elävän latvuksen alaraja ja latvuksen leveys. Tiedot tallennettiin Psion Workabout-tallentimelle.

Suunta keskipisteestä mitattiin bussolilla puun ytimeen. Mittayksikkönä käytettiin astetta ja tarkkuutena yhtä astetta. Ylös kirjattiin neulaluku, joka korjattiin jälkikäteen jokaisen mittajaan henkilökohtaisella kokonaiskorjauksella. Korjaus tehtiin jälkikäteen päässä laskuvirheiden välttämiseksi.

Etäisyys keskipisteestä mitattiin Haglöf Vertex III-laitteella puun ytimeen. Laite käyttää mittaamiseen ultraääntä ja pystyy laskemaan kaltevissa maastoissa vaakasuoran etäisyyden. Mittayksikkönä käytettiin senttimetriä ja tarkkuutena yhtä senttimetriä. Laitteen valmistajan ilmoittama laitteen virhe on maksimissaan 1 % mittaetäisyydestä kolmeenkymmeneen metriin asti. Laitteen mittatarkkuutta tarkistettiin säännöllisellä kalibroinnilla.

Puulajit kirjattiin ylös puulajikoodilla. Männylle, kuuselle, rauduskoivulle, hieskoivulle, haavalle, harmaalepälle, tervalepälle, pihlajalle, kontortamännylle, lehtikuuselle, pihdalle ja katajalle oli oma koodi. Muut puulajit merkittiin koodilla muu puulaji.

Latvuserros kirjattiin ylös vallitsevana jaksena, alikasvoksena tai ylispuuna. Määrittelyssä käytettiin SOLMU-järjestelmän koodeja.

Rinnankorkeusläpimitta mitattiin mittasaksilla 1,3 metrin korkeudelta. Mittayksikkönä käytettiin millimetriä ja tarkkuutena yhtä millimetriä. Puun läpimitta mitattiin koealan säteen vastaisesti.

Puun pituus mitattiin Haglöf Vertex III-laitteella. Laite käyttää puun pituuden mittaamisessa ultraääntä ja nousukulma-anturia. Yksikkönä käytettiin desimetriä ja tarkkuutena yhtä desimetriä. Laitteen valmistajan ilmoittama laitteen tarkkuus on yksi desimetri. Puun pituudesta vähennettiin pois vuoden 2007 pituuskasvu.

Elävän latvuksen alaraja mitattiin samalla tekniikalla kuin puun pituus. Alaraja mitattiin alimpaan elävään oksaan, jonka yläpuolella on korkeintaan kaksi kuollutta oksaa.

Latvuksen leveys mitattiin silmämääräisesti arvioiden puun ylemmän latvuserroksen keskimääräinen leveys. Mittana käytettiin puun juurella olevan mittajaan mittanauhaa. Yksikkönä käytettiin desimetriä ja tarkkuutena yhtä desimetriä.

Mittaryhmä koostui kahdesta tai kolmesta henkilöstä. Yksi henkilö oli varsinainen mittaaja, joka mittasi keskipisteestä mitattavat ominaisuudet. Hänen nimensä kirjattiin ylös koealan kiintopistetietojen kanssa. Tällä tiedolla voitiin jälkikäteen korjata mitatut suuntahavainnot.

Kahdella henkilöllä mitattaessa varsinainen mittaaja mittaa suunnan, etäisyyden, puun pituuden sekä latvuksen alarajan. Hän määrittää lisäksi puulajin, latvuserroksen ja latvuksen leveyden. Varsinainen mittaaja käyttää myös tallenninta. Puun juurella työskentelevä henkilö merkitsee mitatut puut numeroinnilla, asettaa Vertex-laitteen transponderin paikoilleen, mittaa puun rinnankorkeusläpimitan ja avustaa latvusleveyden mittaamisessa.

Kolmella henkilöllä mitattaessa varsinainen mittaaja mittaa suunnan, etäisyyden, pituuden ja latvuksen alarajan sekä määrittää latvusleveyden. Toinen apumittaaja mittaa puun rinnankorkeusläpimitan, asettaa Vertex-laitteen transponderin paikoilleen, merkitsee puun numeroinnilla ja avustaa latvusleveyden määrittämisessä. Toinen apumittaaja käyttää tallenninta ja määrittää puulajin sekä latvuserroksen. Hän myös avustaa latvusleveyden määrittämisessä varsinkin järeän puuston kanssa.

4.2 Puustotietojen käsittely

Maastossa mitatuista puustotiedoista laskettiin yksittäisille puille koordinaatit, tilavuudet ja rungon pinta-ala 1,3 metrin korkeudelta. Rungon pinta-alaa käytettiin pohjapinta-alan laskennassa. Tilavuuksien laskennassa käytettiin Laasasenahon tilavuusyhtälöitä männylle, kuuselle ja koivulle (Laasasenaho 1982). Muille puulajeille käytettiin kyseiselle puulajille edellä mainittujen joukosta sopivinta yhtälöä. Puustotietojen laskentaan käytettiin Excel-ohjelmaa.

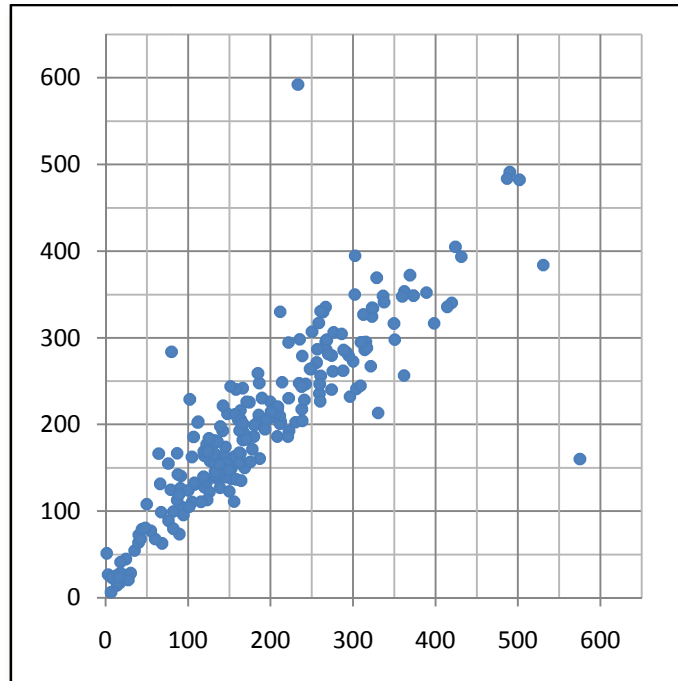
4.3 Laserkeilausdatan käsittely

Blom Kartta Oy:n tuottama laserkeilausaineisto toimitettiin tekstitiedostoissa. Jokaisessa tiedostossa oli yhden lohkon laserpisteet. Tekstitiedostoissa oli desimaalimerkkinä käytetty pistettä, joten sellaisenaan se ei auennut paikkatieto- tai taulukkolaskentaohjelmistoissa. Pisteet muunnettiin pilkuiksi Wordpad-ohjelmalla.

Koealoilla sijaitsevat laserpisteet erotettiin muusta aineistosta ArcGIS-ohjelmistolla. Koealan laserpisteistä laskettiin prosenttipistemallin yhtälöllä kyseiselle koealalle puuston tilavuus, pohjapinta-ala ja keskipituus. Puustotunnusien laskennassa käytettiin Excel- ja SPSS-ohjelmia. Laskentoja varten luotiin Excel-ohjelmaan makro, jolla laskenta osittain automatisoitiin.

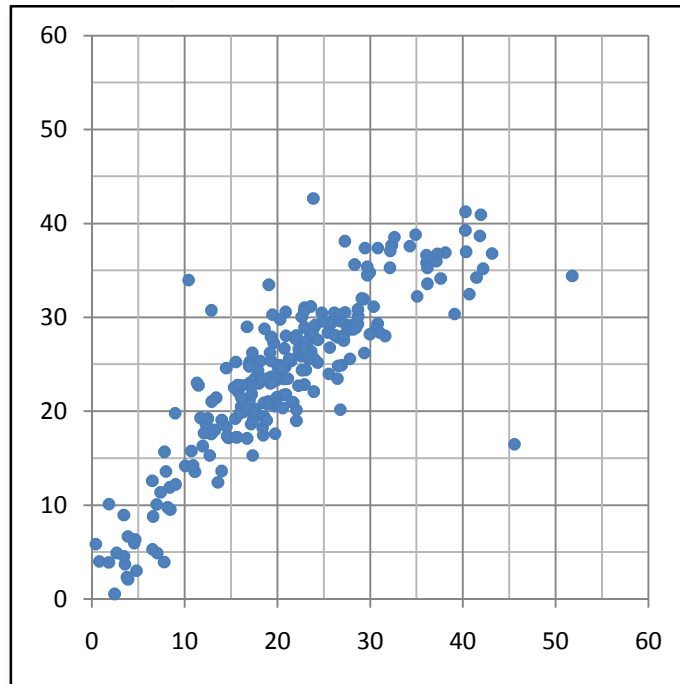
5 TULOKSET

Maastomittauksissa mitattujen koealojen puuston todellinen keskitilavuus on 186,667 m³/ha ja keskihajonta on 106,818 m³/ha. Prosenttipistemallilla lasketun puuston keskitilavuus on 200,554 m³/ha ja keskihajonta on 96,660 m³/ha. Laseraineistosta laskettujen tilavuuksien keskivirhe on 53,054 m³/ha. Suhteellinen keskivirhe on 28,4 prosenttia. (Kuva 1)



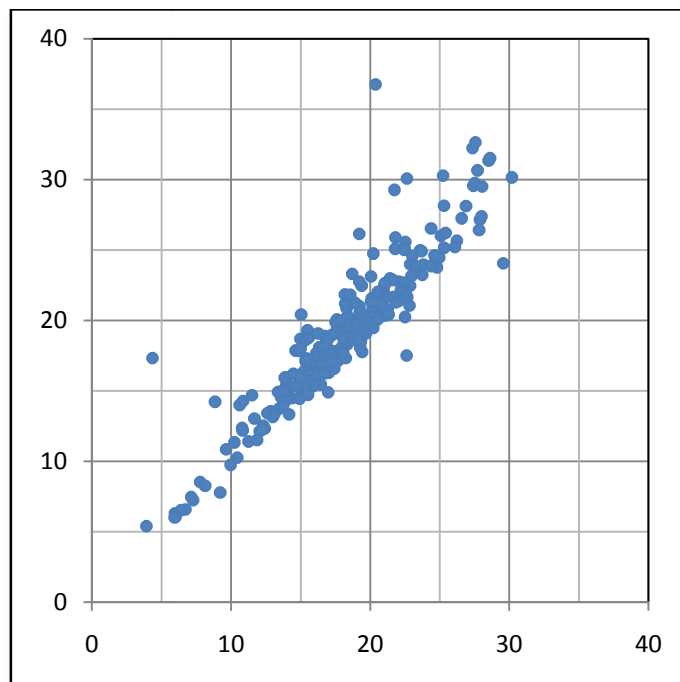
KUVA 1 Mallin antaman tilavuuden (y-akseli) ja todellisen tilavuuden (x-akseli) riippuvuus.

Maastomittauksissa mitattujen koealojen puuston todellinen keskimääräinen pohjapinta-ala on 20,960 m²/ha ja keskihajonta on 9,460 m²/ha. Prosenttipistemallilla lasketun puuston keskimääräinen pohjapinta-ala on 23,885 m²/ha ja keskihajonta on 8,635 m²/ha. Laseraineistosta laskettujen pohjapinta-alojen keskivirhe on 5,575 m²/ha. Suhteellinen keskivirhe on 26,6 prosenttia. (Kuva 2)



KUVA 2 Mallin antaman pohjapinta-alan (y-akseli) ja todellisen pohjapinta-alan (x-akseli) riippuvuus.

Maastomittauksissa mitattujen koalojen puuston todellinen keskipituus on 17,99 metriä ja keskihajonta on 5,08 metriä. Prosenttipistemallilla lasketun puuston keskipituus on 19,02 metriä ja keskihajonta on 5,39 metriä. Laseraineistosta laskettujen keskipituuksien keskivirhe on 2,34 metriä. Suhteellinen keskivirhe on 13,0 prosenttia. (Kuva 3)



KUVA 3 Mallin antaman keskipituuden (y-akseli) ja todellisen keskipituuden riippuvuus (x-akseli).

6 POHDINTA

Suvannon ym. kehittämällä prosenttipistemallilla päästiin Varkauden tutkimusalueella parempaan lopputulokseen, kuin käytössä olevalla SOLMU-muotoisella kuvioittaisella arvioinnilla (Suvanto ym. 2005). Etäisyyttä Varkauden Matalansalon ja Evon välillä on noin 200 kilometriä. Siirryttäessä Evon tutkimusalueelle Varkaudessa tehty prosenttipistemalli ei toimi yhtä tarkasti. Evolla saatujen tulosten perusteella kyseistä prosenttipistemallia ei voi käyttää Evon alueella. Alla olevassa taulukossa on Evon tutkimuksesta saadut suhteelliset keskivirheet verrattuna Suvannon saamiin tuloksiin sekä SOLMU-muotoisen metsien arvioinnin keskivirheisiin Haaran ja Korhosen tekemän tutkimuksen mukaan (Haara ja Korhonen 2004) (Taulukko 1).

TAULUKKO 1 Keskivirheet eri puustotunnuksilla Evon ja Varkauden tutkimuksissa sekä SOLMU-muotoisessa metsien arvioinnissa.

	V keskivirhe	PPA keskivirhe	HGM keskivirhe
Evo	28,4 %	26,6 %	13,0 %
Varkaus	19,9 %	16,5 %	8,4 %
SOLMU	24,8 %	19,6 %	15,7 %

Prosenttipistemallilla laskettujen puustotietojen keskivirheet olivat Evolla suurempia verrattuna SOLMU-muotoiseen metsien manuaaliseen arviointiin. Laserkeilauksella saadun puustotiedon keskivirhe pitää olla pienempi kuin manuaalisessa arvioinnissa, että laserkeilausaineiston käyttö puustoinventoinnissa olisi järkevää. Tämä johtuu laserkeilauksen korkeammista kustannuksista verrattuna manuaaliseen arviointiin. Tekniikan yleistyessä sekä laitteiden kehittyessä kustannukset putoavat ja laserkeilauksen merkitys metsien puustotietojen arvioinnissa kasvaa. (Maltamo & Pitkänen 2003)

7 KEHITTÄMISIDEAT JA JATKOTUTKIMUS

7.1 Maastomittauksen kehittäminen

Alussa mittausta tehtiin ilman elektronisia apuvälineitä. Mittaus oli hidasta ja hankalaa. Kolme mittaushenkilöä oli välttämättömyys. Noin viikon mittauksen jälkeen saimme käyttööme Haglöf Vertex III-laitteen. Laite nopeutti ja helpotti mittausta huomattavasti. Tämä johtui siitä, että mittausta voitiin tehdä ilman mittanauhaa. Laitteen käytössä piti olla huolellinen, ettei laite aiheuta systemaattista virhettä. Laite kalibroitiin vähintään päivittäin ja sen käyttöolosuhteita seurattiin jatkuvasti. Tarvittaessa laite kalibroitiin uudelleen. Vastaavan laitteen käyttö on suositeltavaa jatkossa vastaavanlaisissa mittauksissa.

Tarkkojen paikannuslaitteiden saaminen mukaan kaikille ryhmille vähentää koealojen hävikin riskiä paikannuksen takia. Koealoja voi olla vaikea löytää jälkikäteen esimerkiksi jos niitä ei ole kyetty merkkamaan näky-

västi ja varsinkin jos paikantaja ei ole käynyt koealalla aiemmin. Merkkausmaalien laatu vaikuttaa merkintöjen erottuvuuteen myöhemmin. Maalien pysyvyydessä on isoja eroja. Myös merkkausmaalin väri vaikuttaa erottuvuuteen.

Maastomittauksessa kesän 2007 aikana ehdittiin mitata 283 koealaa, joista käyttökelpoisia oli 235. Kaikkia suunniteltuja koealoja ei ehditty mitata. Suurimman osan kesästä mittausta tehtiin kahdella mittausryhmällä, joissa molemmissa oli yleensä kaksi henkilöä. Henkilömäärän nostaminen kolmeen vaikutti nopeuttavan mittausta, mutta mitattua tietoa tästä ei ole. Erittymisesti vaikeissa mittauskohdeissa kolmas henkilö tuntui nopeuttavan sekä helpottavan mittausta huomattavasti. Neljäs henkilö ei tuntunut tuovan mitään lisähyötyä. Lisähenkilöiden tuomista kustannuksista verrattuna tuotavuuteen tässä maastomittauksessa ei ole tutkittua tietoa.

Puustosta mitattiin yhtenä tunnuksena latvusleveys. Koska laseraineistosta ei saada selville absoluuttista latvusleveyttä, käytettiin mittauksessa omaa mittaustapaa. Tämä latvusleveyden mittaus vei huomattavan osan mittaukseen kuluneesta ajasta ja siitä ei ainakaan vielä ole ollut vastaavaa hyötyä. Latvusleveyden mittauksen kannattavuutta kannattaa harkita jatkossa.

7.2 Jatkotutkimukset

Tutkimuksen perusteella Varkaudessa tehty prosenttipistemalli ei ole käyttökelpoinen Evon alueella, joten on perusteltua luoda jatkotutkimuksena Evolle oma prosenttipistemalli. Vuonna 2009 tehdään uusi keilaus ja sen aineistoa voisi käyttää uuden prosenttipistemallin luomiseen. Suvanto ym. ovat luoneet myös valemuuttajiin perustuvia regressiomalleja. Ne ovat monimutkaisempia, mutta myös tarkempia. Olisi oleellista selvittää ovatko virheet yhtä suuria myös valemuuttujamallissa vai onko se käyttökelpoisempi Evon alueella kuin prosenttipistemalli.

8 LÄHTEET

Blom Kartta Oy 2006. Tilausvahvistus 11.7.2006.

Blom Kartta Oy 2009. Sähköpostilla saatu tiedonanto 30.7.2009.

Haara, A., Korhonen, K.T. 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004; 489-508.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume function for pine, spruce and birch. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108: 74.

Maltamo, M., Pitkänen, J. 2003. Laserkeilauksen metsätaloudelliset sovellusmahdollisuudet. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40.

Nelson, R., Krabill, W., MacLean, G. 1984. Determining forest canopy characteristics using airborne laser data. *Remote Sensing of Environment*, volume 15, issue 3: 201-212.

Næsset, E. 2004. Practical large-scale forest stand inventory using a small footprint airborne scanning laser. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 164-179.

Suvanto, A., Maltamo, M., Packalén, P. & Kangas, J. 2005. Kuviokohtaisten puustotunnusten ennustaminen laserkeilauksella. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2005: 413-428.

Välimäki, E., Kangas, A. 2009. Kasvumallien toiminnan validointi ylitiheissä metsiköissä.