

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalouden koulutusohjelma

Jari Laine

LASERKEILAUSMENETELMÄ TAIMIKOIDEN HOITOTARPEEN JA
-AJOITUKSEN MÄÄRITTELYSSÄ

Opinnäytetyö 2010

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	7
1.1 Tutkimuksen tavoite ja taustat	7
1.2 Laserkeilaus menetelmänä	7
1.3 Laserkeilaus Suomessa	10
1.4 Laserkeilausmenetelmän edut	11
1.5 Laserkeilausmenetelmän ongelmakohdat	12
1.6 Laserkeilauksen kustannukset	13
1.7 Keilauksen tulevaisuudennäkymiä	14
1.8 Keilausprojekti Kuhmossa	15
1.9 Yritysesittelyt	15
1.9.1 Metsähallitus	15
1.9.2 Arbonaut Oy	17
1.9.3 FM-International Oy Finnmap	18
2 MENETELMÄ JA AINEISTO	19
2.1 Referenssikoealojen mittaaminen	19
2.2 Keilausaineiston esikäsittely	20
2.3 Koealojen koko, määrä ja otanta	24
2.4 Maastomittaukset	26
2.5 Metsähallituksen taimikonhoito-ohjeet	29
2.6 Tilastolliset menetelmät	30
2.6.1 Oikeinluokitusprosentti	30
2.6.2 RMSE-analyysit	30
2.6.3 Harha	31
3 TULOKSET	31
3.1 Toimenpide-ehdotusten tarkastelu	31
3.1.1 Kaikki kuviot	31

3.1.2	Kivennäismaat	34
3.1.3	Turvemaat	36
3.2	Runkoluvun ja pituuden tarkastelu, kaikki kuviot	38
3.2.1	Hoitotarve heti (MH1).....	38
3.2.2	Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)	40
3.2.3	Ei hoitotarvetta (MH3).....	42
3.3	Runkoluvun ja pituuden tarkastelu, kivennäismaat.....	44
3.3.1	Hoitotarve heti (MH1)	44
3.3.2	Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)	46
3.3.3	Ei hoitotarvetta (MH3).....	48
3.4	Runkoluvun ja pituuden tarkastelu, turvemaat	50
3.4.1	Hoitotarve heti (MH1)	50
3.4.2	Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)	52
3.4.3	Ei hoitotarvetta (MH3).....	54
3.5	Havu- ja lehtipuuprosentit ja niiden vertailu menetelmien välillä	56
3.6	RMSE-analyysit	57
3.7	Harha	59
4	TULOSTEN TARKASTELU.....	61
4.1	Kivennäismaat.....	62
4.1.1	Hoitotarve heti (MH1)	62
4.1.2	Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)	63
4.1.3	Ei hoitotarvetta (MH3).....	64
4.2	Turvemaat	65
4.2.1	Hoitotarve heti (MH1)	66
4.2.2	Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2).....	67
4.2.3	Ei hoitotarvetta (MH3).....	67
4.3	Havu- ja lehtipuuprosentit ja niiden vertailu menetelmien välillä	68

5 JOHTOPÄÄTÖKSET	69
5.1 Aikaisemman taimikkotutkimuksen tulokset.....	69
5.2 Johtopäätökset.....	70
LÄHTEET	72

LIITTEET

Liite 1. Kartta tutkimusalueesta

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalous

LAINEN, JARI

Laserkeilausmenetelmä taimikoiden hoitotarpeen ja
-ajoituksen määrittelyssä

Opinnäytetyö

75 sivua + 1 liitesivu

Työn ohjaaja

Lehtori Martti Mela

Toimeksiantaja

Metsähallitus

Toukokuu 2010

Avainsanat

laserkeilaus, taimikot, taimikoninventointi, toimenpide-
tarve

Metsänhoitotöiden suunnittelu on ollut perinteisesti ihmistyövaltaista ja kallista: jokaisella maastokohteella on jouduttu käymään toteamassa kohteen tila ja määrittämässä mahdolliset metsänhoidolliset toimenpiteet ja niiden ajoitukset. Viime vuosina on yhä enemmän tutkittu kaukokartoitusmenetelmien hyödyntämistä metsänhoitotöiden suunnittelun apuvälineenä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää aluepohjaisen laserkeilausmenetelmän soveltuvuutta taimikonhoitotöiden ja niiden ajoituksen määrittelyyn. Tutkimuksessa vertaillaan keilausaineiston perusteella tulkittuja toimenpide-ehdotuksia ja puustotunnuksia maastomittauksilla saatuihin tuloksiin. Vertailtavia puustotunnuksia ovat runkoluku, pituus sekä havu- ja lehtipuusuudet. Toimenpiteet on jaettu kolmeen hoitoluokkaan, jotka ovat ”heti”, ”1 - 5 vuoden kuluessa” ja ”ei hoitotarvetta”.

Tulosten perusteella kivennäismaakohteilla hoitotoimenpiteet olivat yhtenevät eri inventointimenetelmien välillä 58 prosentilla kuvioista ja turvemaakohteilla 71 prosentilla kuvioista. Maastossa mitatut runkoluvut olivat keskimäärin pienemmät kuin laserkeilaintulkinnalla saadut runkoluvut, lasertulkinnalla puolestaan saatiin keskimäärin pienemmät kuviokohtaiset pituudet maastomittauksiin verrattuna. Havu- ja lehtipuuvvertailussa lehtipuuta saatiin laserkeilausmenetelmään liittyvällä ilmakuvatulkinnalla systemaattisesti enemmän kuin maastoinventoinneilla.

Tämän tutkimuksen perusteella operatiivisessa käytössä olevilla harvapulssisilla laserkeilausmenetelmillä ei vielä saada riittävän luotettavaa kuvaa taimikoiden puustosta. Myöskään puuston terveydentilaa tai luontokohteita ei kaukokartoitusmenetelmillä saada selville. Lisäksi laserkeilausmenetelmä ei korkeiden kustannusten vuoksi sovelly pienten pinta-alojen inventointiin. Tulevaisuudessa tulosten tulkintamenetelmiä kehittämällä tai tiheäpulsseja laserkeilausmenetelmiä käyttämällä voisi olla mahdollista aikaansaada parempia tuloksia myös taimikoista.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Forestry

LAINEN, JARI

The Lidar Method in Specification of the Care Need for the
Seedling Stands

Bachelor's Thesis

75 pages + 1 appendix

Supervisor

Martti Mela, MSc (For.)

Commissioned by

Metsähallitus

May 2010

Keywords

lidar, seedling stand, the clearing need

The planning of forestry work is time-consuming and expensive. During the last few years, the utilizing of remote sensing methods in the planning of forestry work has been studied.

The purpose of this research is to clear up the suitability of the area based lidar method in the definition of the seedling stand operations and of their timing. The results that have been measured in the terrain in the study are compared with results measured by lidar. The results to be compared are the number of stems, the length of stems and the proportion of the coniferous and deciduous trees. The measures have been divided into three care classes. These are "immediate need for clearing", "need for clearing within 5 years" and "no need for clearing".

On the mineral soils the treatments are congruent by 58 per cent of the figures and on the peatland forests by 71 per cent of the figures. The number of stems that were measured in the terrain was smaller than the number of stems that have been predicted by lidar method on average. With the laser interpretation smaller figure-specific lengths were obtained on average.

A picture from the seedling stands which is reliable enough is not obtained yet with the lidar method in use at the moment. The health of the tree stand, or nature targets are not found out with remote sensing methods. The lidar method is not yet suitable because of high costs for stocktaking of small areas. It could be possible to get better results also from the seedling stands by developing the interpretation methods of lidar.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tavoite ja taustat

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, soveltuuko harvapulssinen laserkeilausmenetelmä taimikoiden hoitotarpeen ja -ajoituksen määrittelyyn. Tutkimuksessa vertaillaan maastossa mitattuja puustotunnuksia laserkeilaimen tulkintatulosten perusteella määritettyihin tunnuksiin. Lisäksi maastomittausten ja silmämääräisen arvioinnin perusteella esitettyjä toimenpide-ehdotuksia verrataan keilausaineistosta johdettuihin toimenpide-ehdotuksiin. Tutkimusalue käsittää Kuhmon kunnan itäosissa sijaitsevat Metsähallituksen alueet Elimyssalon luonnonsuojelualueesta etelään lähes Pohjois-Karjalan maakuntarajalle asti (liite 1).

Metsähallituksesta tiedusteltiin halukkuuttani osallistua tähän projektiin keväällä 2009. Vielä tässä vaiheessa tarkoitukseni ei ollut tehdä kyseisestä aiheesta opinnäytetyötä, vaan ajatus kypsyi ajan myötä. Laserkeilausprojektiin liittyvät maastomittaukset sain valmiiksi elokuussa 2009, jolloin luovutin tulokset Metsähallituksen käyttöön. Opinnäytettä aloin hahmotella joulukuussa 2009. Pääasiallisia syitä aihevalintaan on kaksi: opinnäyte kuuluu pakollisena osana metsätalousinsinööritutkintoon, minkä lisäksi laserkeilausmenetelmät ovat tulevaisuuden välineitä metsien- ja todennäköisesti myös taimikoiden inventoinnissa. Tämän aihevalinnan myötä pääsen perehtymään menetelmään ja sen ongelmakohtiin ja etuihin. Näitä tietoja voi mahdollisesti myöhemmin hyödyntää työelämässä.

1.2 Laserkeilaus menetelmänä

Laserkeilaus, Light Detection and Ranging (LiDAR), on alun perin sotilaskäyttöön kehitetty kaukokartoitusmenetelmä, jolla mitattavasta kohteesta saadaan tarkkaa kolmiulotteista tietoa kohteeseen koskematta (Arbonaut Oy 2009a, 2).

Helikopteriin tai lentokoneeseen asennettu mittakeilain lähettää automaattisesti lasersäteitä halutulla tiheydellä. Säteet kimpoavat eteen osuvasta kohteesta takaisin, jolloin niiden tuottamaa tietoa voidaan tarkastella. Keilauskaistaleen leveys riippuu lentokorkeudesta. Mitä korkeammalta keilataan, sitä leveämpi kaistale saadaan tarkasteluun.

Kahden kilometrin korkeudella lentävä lentokone pystyy keilaamaan noin kilometrin levyistä kaistaletta (kuva 1). (Pihlava 2008.)

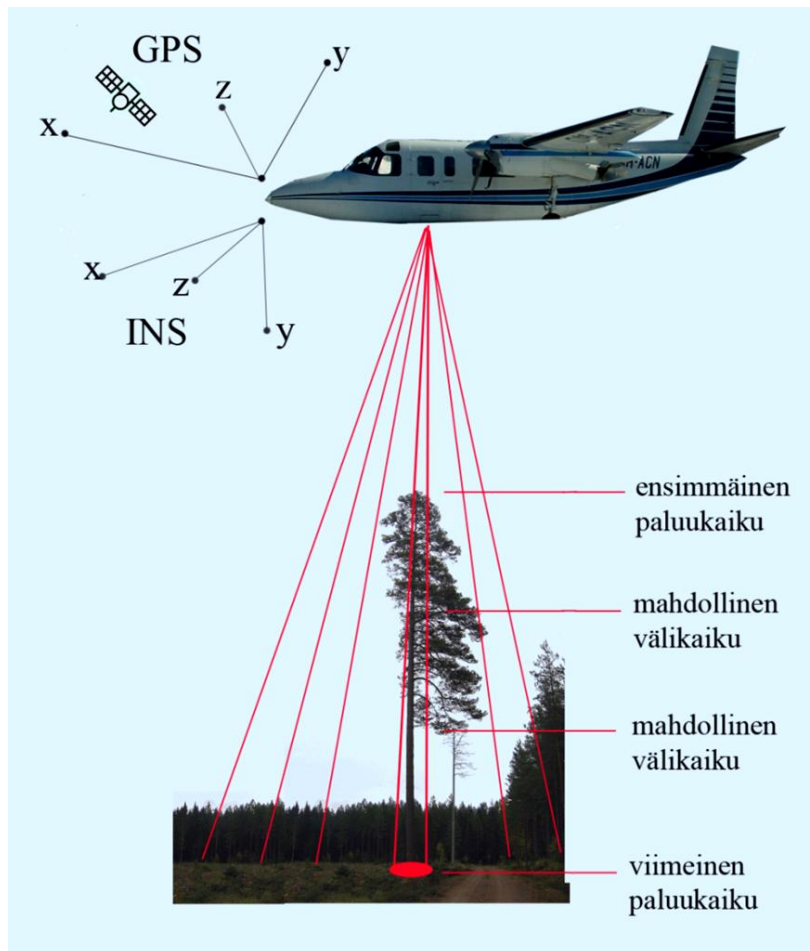


Kuva 1. Laserkeilainmittauksen periaate (Pihlava 2008.)

Menetelmä perustuu kolmeen eri vaiheeseen. Ensin mitataan etäisyys mittalaitteen ja mitattavan kohteen välillä. Laserkeilaimen lähettämät signaalit kulkevat valon nopeudella, joten etäisyys voidaan johtaa laserpulssin mittalaitteesta kohteeseen ja takaisin kulkeman ajan perusteella. Laserpulssi voi osua useampaan kuin yhteen kohteeseen, jolloin pulssista tallennetaan useampi paluupulssitieto (kuva 2). Aina paluupulsseja ei kuitenkaan saada. Jokaisen palaavan laserpulssin intensiteetti tallennetaan, koska lasersäteet heijastuvat eri tavalla erilaisista kohteista. Laserkeilaimen paluupulsseista käytetään nimeä kaiku. (Laaksonen 2009.)

Pulssit ovat maahan tullessaan noin 60 senttimetrin levyisiä, ja ne heijastuvat takaisin joko kasvillisuudesta tai maanpinnasta. Pulsseista ei saada suoraan puustotunnuksia, vaan pelkästään pulssien tarkat sijainti- ja korkeustiedot sekä intensiteetit (laserpulssin takaisin heijastuvan energian osuus). Puustotunnukset johdetaan laserkeilausdatasta tilastollisin keinoin. (Laamanen 2009.)

Inertianavigoinnin avulla saadaan selville lentokoneen ja samalla keilaimen asennon vaihtelut lennon aikana. Tämä on tärkeää määriteltäessä mitattavan kohteen tarkkaa sijaintia: jo pienikin muutos laserpulssin lähtökulmassa vaikuttaa pulssin osumakohtaan maanpinnalla. Kolmantena vaiheena määritetään GPS-paikannuksella laserkeilaimen tarkka sijainti keilaushetkellä. (Pihlava 2008.)



Kuva 2. Laserpulssien heijastuminen maastosta ja puustosta (Laaksonen 2009.)

Aikaisemmin laserkeilausta on käytetty etupäässä teollisuuslaitosten korjaussuunnittelussa, maaston korkeuskartoituksessa sekä rakennusmittauksissa. Nykyisin keilausta käytetään edellä mainittujen lisäksi myös puuston kartoituksessa, arkeologiassa sekä tielinjojen, tunnelien ja siltojen mittauksissa. (Joala 2006, 5.)

Keilainten tarkkuus vaihtelee mitattavien kohteiden mukaan. Pieniä ja suurta tarkkuutta vaativia kohteita varten käytetään teollisuuslaserkeilaimia, joiden mittausetäisyys on alle 30 metriä ja tarkkuus alle millimetri. Maalaserkeilaimilla mittausetäisyys on

1 - 300 metriä ja tarkkuus alle kaksi senttimetriä, ja kaukokeilaimilla mittausetäisyys on sadasta metristä aina usean kilometrin etäisyydelle asti ja tarkkuus kymmenen senttimetrin luokkaa. Metsätalouden sovelluksissa käytetään kaukokeilaimia. (Joala 2006, 1.)

1.3 Laserkeilaus Suomessa

Laserkeilausta on käytetty maastokartoituksen apuvälineenä jo yli kymmenen vuoden ajan. Maa- ja metsätalousministeriön alainen Geodeettinen laitos on yksi pisimpään laserkeilausta Suomessa tutkineita laitoksia. Myös Maanmittauslaitos on toiminut laserkeilauksen parissa ensimmäisten joukossa. Tekniikan kehittyessä ja halventuessa laserkeilausta on päästy soveltamaan maastokartoituksen lisäksi metsäkäyttöön. Näitä sovelluksia tutkivia ja hyödyntäviä tahoja Suomessa ovat Helsingin ja Joensuun yliopistot, Teknillinen korkeakoulu, Metsäntutkimuslaitos, Metsäkeskus Tapio, Blom Kartta Oy, Ubi Map Oy, Arbonaut Oy, Metsähallitus ja UPM. (Pihlava 2008.)

Aluepohjaiset menetelmät (harvapulssiseen aineistoon perustuvat)

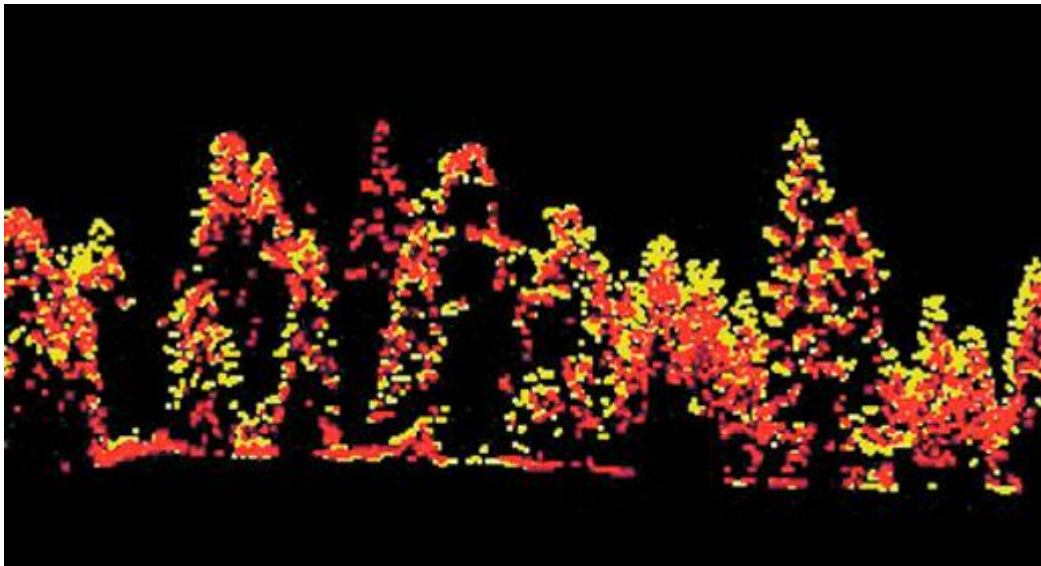
Laserkeilausaineistosta voidaan tuottaa inventointitietoja kahdella lähestymistavalla. Aluepohjaisessa tulkinnassa puustotunnukset ennustetaan metsikkötunnusten ja laserpulssien tiheys- ja korkeusjakaumien välisen vahvan tilastollisen riippuvuuden perusteella. Tulkinta tehdään ensin hilalle, joka muodostuu 16 metriä x 16 metriä -kokoisista ruuduista. Hilalta tulkinta yleistetään mikrokuvio- tai kuviotasolle. Aluepohjaisten tulkintamenetelmien vahvuutena on niiden soveltuminen harvapulssisen laserkeilainaineiston hyödyntämiseen (Laamanen 2009; Närhi, Maltamo, Packalén, Peltola & Soimasuo 2008, 6 - 7.)

Yksinpuintulkinta (tiheäpulssiseen aineistoon perustuvat)

Yksinpuintulkinnassa yksittäiset puut pyritään tunnistamaan hahmontunnistuksella. Menetelmän käyttäminen vaatii tiheämmän laseraineiston ja on sen vuoksi aluepohjaisia menetelmiä kalliimpi vaihtoehto. Tiheäpulssisella keilausmenetelmällä keilattavan kaistaleen leveys on 200 metriä ja lentokorkeus noin 400 metriä (Terve Metsä 2009, 24). Tunnistuksen jälkeen jokaiselle puulle ennustetaan tunnukset ja lopuksi kooste-

taan metsikkö yksittäisistä puista. (Närhi ym 2008, 6 - 7.) Tämän menetelmän vahvuutena on se, että sillä päästään yksittäisillä rungoilla aluepohjaisia menetelmiä tarkempiin tuloksiin: yksinpuintulkinnalla on mahdollista esimerkiksi selvittää jokaisen rungon puutavaralajijakauma (Holopainen, Hyypä, Puttonen & Vastaranta 2009, 365).

Kuvassa 3 on tiheäpulsista laserkeilausmenetelmää (yksinpuintulkintaa) hyödyntäen tehty poikkileikkaus metsästä. Metsikkö on keilattu kahteen kertaan, ensimmäisen kerran vuonna 1998 ja toisen kerran vuonna 2003.



Kuva 3. Laserkeilaimella tehty poikkileikkaus metsästä vuosilta 1998 (punainen) ja 2003 (kasvu keltaisella). Kuvassa näkyy punainen puu, joka on kaatunut mittausten välillä. (Pihlava 2008.)

Tähän mennessä tutkimus- ja kehitystyö on keskittynyt kasvatusmetsien kaukokartoitukseen aluepohjaisten menetelmien avulla. Menetelmän soveltuvuutta taimikoninventointiin ja etenkin taimikoiden hoitotarpeen määrittelyyn on tutkittu vain vähän. Kasvatusmetsissä menetelmä on saatu kehitettyä niin pitkälle, että mahdollisuudet kaupalliseen laajamittaiseen käyttöön ovat olemassa. Metsäkeskuksissa laserkeilausmenetelmä on tarkoitus ottaa käyttöön jo keväällä 2010 (Tapio 2008).

1.4 Laserkeilausmenetelmän edut

Laserkeilauksen mittausrvirhe on rajattujen metsikköalueiden tasolla alle 15 prosenttia, kun se perinteisellä maastomittausmenetelmällä voi pahimmassa tapauksessa olla

ta eikä muista arvokkaista luontokohteista, vaikka varsinaiset puustotunnukset voidaan toki ennustaa näiltäkin kohteilta. Kasvupaikka- ja maaperätiedot joudutaan tarkistamaan maastossa tai hyödyntämään aikaisempien maastoinventointien tietoja. Myös puulajien tunnistus ja puutavaran erottelu tukki- ja kuitupuuhun on aluepohjaisilla menetelmillä kuten harvapulssisella laserkeilauksella toistaiseksi hankalaa. Puulajit tunnistetaan nyky menetelmällä ilmakuvien avulla.

Laserkeilaus ei vielä sovellu pienten pinta-alojen mittaamiseen korkeiden kustannusten takia. Keilauksen vaatimien laitteistojen lisäksi suuria kustannuksia aiheuttavat lentokaluston vuokrat ja lentäjien palkat. Menetelmän kannattavuus perustuukin riittävän suureen pinta-alaan: mitä enemmän on keilattavaa alaa, sitä pienemmäksi hehtaarikohtaiset kustannukset tulevat.

Jotta laserkeilaimen mittaustuloksia voidaan tulkita luotettavasti, tarvitaan riittävästi tarkkaa tietoa keilattavan alueen puustosta. Tietoa saadaan maastomittauksilla eli referenssikoealojen mittauksella. Jos referenssikoealoja ei ole mitattu riittävästi tai mitatut koealat eivät kuvaa alueen puuston ja kasvupaikkojen ominaisuuksia riittävän hyvin, tulkintatulokset eivät ole luotettavia. Sääolot voivat myös vaikuttaa laserkeilauksen tiedon luotettavuuteen. Alapilvet, paksu sumu ja kova tuuli voivat hankaloittaa puustotietojen hankintaa laserkeilainmenetelmällä. Vuorokaudenajalla ei kuitenkaan ole merkitystä, vaan keilata voidaan myös pimeällä (Tapio 2008; Arbonaut Oy 2009a, 7.)

1.6 Laserkeilauksen kustannukset

Vain aluepohjaiset, eli harvapulssiseen aineistoon perustuvat, menetelmät ovat kehittyneet operatiivisiksi menetelmiksi Suomessa (Laamanen 2010). Kun pistetiheytenä käytetään keskimäärin puolta pistettä neliömetrille (eli yksi piste kahdelle neliömetrille) ja puustoa kuvaavien tunnusten laskennassa käytetään valittujen metsäotosten eli referenssikoealojen tietojen avulla tehtyjä malleja, menetelmän hinnaksi tulee 3 - 5 euroa hehtaarilta. Tämä sisältää laserkeilauksen, maastotyöt ja tiedon tulkinnan. Edellytyksenä kuitenkin on keilattavien alueiden suuri yhtenäinen pinta-ala. Jos keilausalueen pinta-ala on suurin piirtein 50 000 hehtaaria, kustannukset putoavat noin euroon hehtaaria kohden (Terve Metsä 2009, 25). Perinteisen yksityismetsien maastomittausinventoinnin kustannukset ovat noin yhdeksän euroa hehtaarille. (Pihlava 2008.)

1.7 Keilauksen tulevaisuudennäkymiä

Metsäntutkimuslaitos (Metla) on tehnyt 1900-luvun alkupuolelta lähtien valtakunnan metsien inventointeja (VMI). Inventoinneissa kootaan tietoja metsäalasta, puuston kasvusta ja metsien yleisestä tilasta. Alkuun valtakunnalliset inventoinnit tehtiin pelkästään miestyönä maastossa, mutta nykyisin maastomittausten apuna käytetään satelliittikuvia. Tästä huolimatta koealatietojen kerääminen on edelleen työvoimavaltaista ja kallista. Laserkeilauksen avulla on mahdollista saada kustannussäästöä, koska maastomittauksia voidaan karsia ja keskittää harvempiin kohteisiin sekä laserkeilauskohteiden satunnaisiin tarkistusmittauksiin. (Pihlava 2008.)

Taimikonhoitotöiden ja hakkuiden suunnittelun lisäksi laserkeilausta voisi olla tulevaisuudessa mahdollista käyttää esimerkiksi ojituksen suunnittelussa. Metsähallitus on tutkinut laserkeilausmenetelmän käyttökelpoisuutta kunnostusojituksen suunnittelussa Kuhmossa kesällä 2009. Tutkimuksessa kunnostettavat ojat, ojalinjahakkuut ja vesien suojele suunniteltiin laseraineistoa hyödyntäen. Tulokset olivat lupaavia, sillä tulkinalla saatiin hyvä yleiskuva ojaverkoston kunnosta ja maaston korkeusvaihteluista. (Metsähallitus 2009.)

Metsieninventoinnin lisäksi laserkeilauksen mahdollisia sovelluskohteita on etsitty eri metsätieteiden parista. Kolin kansallispuistossa on tutkittu suurten haapojen esiintymistä, maalahopuun määriä ja luonnonmetsille tyypillisiä puustorakenteita käyttäen apuna laserkeilausmenetelmää. Menetelmää voisi olla mahdollista soveltaa myös esimerkiksi metsätuhojen sekä bioenergiakohteiden kartoittamiseen. (Maltamo 2006, 33.)

Maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatti Juho Heikkilä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiosta arvioi (Terve Metsä 2009, 24), että jatkossa maastossa tarkistetaan enää 20 - 25 prosenttia koko inventointialasta. Hänen mukaansa taimikot ja uudistusalat on edelleen tarkistettava maastossa, mutta kasvatusmetsät voidaan inventoida suoraan laserkeilausaineiston pohjalta. Tulevaisuudessa markkinoille odotetaan useita uusia laserkeilauspalveluita tarjoavia toimijoita, joten kilpailu kiristyy, kapasiteettirajoitukset poistuvat ja sitä kautta kustannukset laskevat (Metsähallitus 2009).

1.8 Keilausprojekti Kuhmossa

Kuhmon kunta sijaitsee Kainuun maakunnan itäosissa. Kunnan kokonaispinta-ala on 5 458 km², josta maapinta-alaa on 4 821 km² ja vesialueita 637 km² (Kuhmon kaupungin Internet-sivut 2010). Metsähallituksella on hallinnassaan maa-alueita kunnan alueella 284 000 hehtaaria, josta metsätalouden käytössä olevaa metsämaata on 166 000 hehtaaria ja kitumaata 25 000 hehtaaria (Moilanen 2010).

Metsähallitus tilasi Arbonaut Oy:ltä laserkeilausaineistoa itäisen Kuhmon alueelta. FM-International Oy suoritti keilauksen lokakuussa 2008 Leica ALS 50 II -laserkeilaimella. Laserkeilauksessa käytettiin Cessna 401 B -lentokonetta, jonka lentonopeus oli noin 60 metriä sekunnissa ja lentokorkeus keskimäärin 2 000 metriä maanpinnan yläpuolella. Referenssikoealojen mittauksesta sekä tulosten tulkinnasta vastasi Arbonaut Oy. (Peuhkurinen 2010.) Koealat mitattiin lokakuun 2008 ja tammi-kuun 2009 välisenä aikana ja valmiit aineistot toimitettiin Metsähallitukselle 15.2.2009 (Arbonaut 2009b, 2 - 3).

Laserkeilatuista alueista 22 179 hehtaaria oli kasvatusmetsiä, 7 929 hehtaaria taimikoita ja 6 082 hehtaaria puuttomia alueita. Puustoa keilatulla alueella on yhteensä 2 119 090 m³, josta mäntyä 1 553 633 m³, kuusta (käsittää myös lehtikuusikot) 348 821 m³ ja lehtipuita 216 635 m³. Taimikoista 85 prosenttia oli pituudeltaan 1 - 4,5 metriä. (Arbonaut Oy 2009b, 2 - 4.)

1.9 Yritysesittelyt

1.9.1 Metsähallitus

Metsähallitus on valtion liikelaitos, jolla on sekä liiketoimintaa että julkisia hallinto-otehtäviä. Liiketoiminnan tulosalueita ovat Metsätalous, Villi Pohjola ja Laatumaa. Morenia Oy, Fin Forelia Oy, Siemen Forelia Oy ja Metsähallitus Holding Oy ovat Metsähallituksen tytäryhtiöitä. Metsätaloustoiminnon tehtävinä ovat puun markkinointi, myynti sekä talousmetsien hoito ja asiakkaina ovat metsäteollisuus ja muut puuta käyttävät yritykset sekä kotimaassa että ulkomailla. Villi Pohjola markkinoi matkailupalveluja kotimaassa ja ulkomailla sekä tarjoaa luontomatkoja, majoitus-, ka-

lastus-, metsästys- ja maastoliikennepalveluita. Laatumaan tehtävänä ovat Metsähallituksen omistamien lomatonttien ja metsäkiinteistöjen kaavoitukset, markkinoinnit, myynnit ja vuokraamiset. (Metsähallituksen Internet-sivut 2010.)

Vuonna 2008 konsernin liikevaihto oli 342 miljoonaa euroa ja tulos 104 miljoonaa euroa, josta valtiolle tuloutettiin 100 miljoonaa euroa. Metsätalous-liiketoiminnon osuus liikevaihdosta oli lähes 85 prosenttia, 287 miljoonaa euroa. Metsähallitus työllistää tytäryhtiöt mukaan lukien 1 800 työntekijää ja tämän lisäksi noin 800 ulkopuolista urakoitsijaa. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Vantaalla Tikkurilassa. (Metsähallituksen Internet-sivut 2010.)

Tytäryhtiöistä Morenia Oy on keskittynyt maa-aineskauppaan. Fin Forelia Oy tuottaa, markkinoi ja myy metsäpuiden taimia ja Siemen Forelia Oy metsäpuiden siemeniä. Metsähallitus Holding Oy omistaa ja kehittää Metsähallituksen liiketoimintaan ja sen läheisiin toimialoihin liittyviä sijoituksia. (Metsähallituksen Internet-sivut 2010.)

Metsähallituksen julkiset hallintotehtävät hoidetaan pääosin budjettivaroin. Näitä ovat muun muassa lakisääteisten luonnonsuojelu- ja retkeilyalueiden hoito, uhanalaisten lajien suojelu ja hoito, luonnonsuojelua koskevat viranomaisasiat, erävalvonta sekä erämaa-alueiden sekä retkeilyalueiden kunnossapito ja hoito. (Metsähallituksen Internet-sivut 2010.)

Metsähallitus: Metsätalous

Metsähallituksen hallinnassa on yli 12 miljoonaa hehtaaria valtion omistamia maa- ja vesialueita, joista talousmetsiä on noin 3,5 miljoonaa hehtaaria. Metsähallitus on jaettu seitsemään alueeseen: Länsi-Suomi, Itä-Suomi, Pohjanmaa, Kainuu, Länsi-Lappi, Itä-Lappi sekä Ylä-Lappi. (Metsähallituksen Internet-sivut 2010.)

Kainuun alueella Metsähallituksella on metsätalousmaata noin 480 000 hehtaaria, joista täydessä metsätalouden käytössä on 394 000 hehtaaria, rajoitetussa käytössä 55 000 hehtaaria ja metsätalouksen ulkopuolella 31 000 hehtaaria. Metsätalouden puuston tilavuus on yhteensä 43,1 miljoonaa kuutiota ja tilavuus hehtaaria kohden keskimäärin 90 kuutiota (Holappa 2010.)

1.9.2 Arbonaut Oy

Arbonaut Oy on vuonna 1994 perustettu metsien, luonnonvarojen ja maaston kartoitukseen paikkatietoratkaisuja kehittävä yhtiö, jonka toiminta on maailmanlaajuista ja jonka asiakkaina on maailman suurimpia metsä- ja luonnonvara-alan yrityksiä Suomesta ja Yhdysvalloista. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Joensuussa Pohjois-Karjalassa. Vuodesta 2009 lähtien Arbonaut Oy:llä on ollut toimistot myös Helsingissä ja Stowessa Vermontin osavaltiossa Yhdysvalloissa. (Arbonaut Oy:n Internet-sivut 2010.)

Arbonautin työntekijät koostuvat metsäalan asiantuntijoista, matemaatikoista, paikkatietoasiantuntijoista sekä ohjelmistosuunnittelijoista. Yrityksen merkkipaaluja ovat vuonna 1997 esitelty metsävaratietojen inventointijärjestelmä, joka perustuu ensimmäisenä maailmassa automaattiseen yksittäisten puiden inventointiin ilmakuvia hyödyntäen. Vuonna 1999 Arboreal (Arbonaut Oy vuodesta 2000 lähtien), Benefon ja Geodata esittelivät matkapuhelimen, johon oli saatavilla GPS-ominaisuuksia, niin ikään ensimmäisenä maailmassa. Maailman ensimmäinen verkkometsäsuunnitelma kehitettiin UPM:n kanssa vuonna 2002, ja seuraavana vuonna Arbonaut Oy toimitti Metsähallitukselle ensimmäisen kannettavan metsänmittaukseen soveltuvan maastotietojärjestelmän. (Arbonaut Oy:n Internet-sivut 2010.)

Laserkeilausmenetelmää kokeiltiin yhtiössä ensimmäisen kerran vuonna 1999. Nykyisin käytössä oleva laserkeilaukseen perustuva metsävarojen inventoinnin järjestelmä ArboLIDAR esiteltiin vuonna 2005. Järjestelmää kehitetään edelleen yhteistyössä metsäalan ammattilaisten ja tutkijoiden kanssa. Metsävaratietojen inventoinnin lisäksi yritys tarjoaa tiedon analysointi- ja loppukäsittelypalveluita. (Arbonaut Oy:n Internet-sivut 2010.)

Arbonaut Oy:n yhteistyökumppaneita ja asiakkaita ovat muun muassa Metsähallitus, UPM, useat metsäkeskukset, metsänhoitoyhdistykset, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsäntutkimuslaitos (Metla), Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), FM-International Oy Finnmap, Lahden kaupunki, paikkatietoratkaisujen toimittaja ESRI Inc., Joensuun yliopisto, IBM sekä Hewlett-Packard (Arbonaut Oy:n Internet-sivut 2010.)

1.9.3 FM-International Oy Finnmap

FM-International Oy on vuonna 1993 perustettu yksityinen paikkatiedon tuotantoon erikoistunut konsulttitoimisto, jonka toiminta on keskittynyt ensisijaisesti vientiprojekteihin EU-alueen ulkopuolelle Kaakkois-Aasiaan, Pohjois-Afrikkaan, Itä-Eurooppaan sekä Latinalaiseen Amerikkaan. Hankkeiden rahoittajina ovat pääasiassa kahdenvälistä kehitysyhteistyötä rahoittavat organisaatiot, kehityspankit, Euroopan unionin komissio ja YK. Keväästä 2004 lähtien palveluita on ollut saatavilla myös Suomessa ja Suomen lähialueilla. Yrityksen päätuotteita ovat ilmakuvaukset, kaukokartoitus, geodeettiset mittaukset, digitaaliset ortokuvat ja kartoitukset, GIS-kehitystyö, maarekisteröinti ja erilaisten maastomallien sekä tilavuudenmääritysten ja profiilimitausten tuottaminen. (FM-international Oy:n Internet-sivut 2010.)

FM-international Oy:n pääkonttori on Helsingissä, ja aluetoimistot sijaitsevat Laosissa, Thaimaassa, Kambodžassa, Nepalissa sekä Turkissa. Yritys työllistää yli 30 asiantuntijaa, joiden kokemus kattaa kaikki kartoitus- ja mittaushankkeiden työvaiheet. (FM-international Oy:n Internet-sivut 2010.)

Laserkeilauspalvelut ovat kuuluneet FM-international Oy:n toimenkuvaan vuodesta 2006 lähtien. Tärkeimpiä hankkeita ovat olleet laseraineiston tuottaminen erilaisista kaupunkikohteista, teistä, rautateistä ja sähkölinjoista. Pienempiä hankkeita ovat kaivosten ja maa-ainesvarastojen tilavuuden määrittelyyn tarkoitettut keilaukset. Uusimpana sovelluksena on laserkeilausaineiston käyttö metsäninventointien tietolähteenä. (FM-international Oy:n Internet-sivut 2010.)

Ilmakuvaukset ovat yksi yhtiön tärkeimpiä toimenkuvia. Suomessa yritys on tehnyt ilmakuvauksia vuodesta 2004 lähtien sekä lentokoneilla että helikoptereilla. Ilmakuvauksia tehdään laaja- ja keskikokoisilla digitaalisilla ja analogisilla ilmakuvauuskameroilla. (FM-international Oy:n Internet-sivut 2010.)

Kartta- ja maastomalliaineistoja yritys on tuottanut perustamisestaan lähtien. Suomessa digitaalisia kartoituksia on tehty vuodesta 2005 alkaen. (FM-international Oy:n Internet-sivut 2010.)

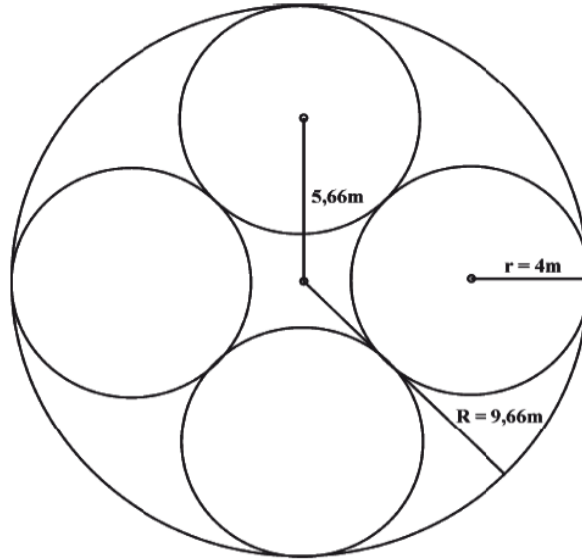
2 MENETELMÄ JA AINEISTO

2.1 Referenssikoealojen mittaaminen

Referenssikoealojen mittaamisen tarkoituksena on tuottaa niin sanottua opetuskoeala-aineistoa laserinventoinnin puustotulkintaa varten. Koealat täytyy sijoittaa erilaisiin, eri kehitysvaiheissa oleviin metsiin, jotta tietoa saadaan mahdollisimman erilaisista metsiköistä. Referenssikoealojen valinta kohdealueen metsiköistä on tulkintatuloksen kannalta kriittistä, koska tulkintaprosessi ei voi ennustaa mitään sellaista, mitä koealoihin ei ole sisällytetty. Referenssikoealojen mittauksella ikään kuin luodaan tarvittavat mitta-asteikot ja muuntotunnukset, joiden avulla laserpulssien korkeusjakaumatiedoista ja pulssien kasvillisuudesta palanneiden osuuksien tiedoista voidaan ennustaa puustotunnukset. (Laamanen 2009.)

Taimikkovaiheen ohittaneissa metsiköissä koealat ovat yhdeksän metrin kiinteäsäteisiä ympyräkoealoja, jotka paikannetaan maastossa tarkasti, noin metrin tarkkuudella. Jokaista inventointialuetta kohden tulisi mitata noin 500 koealaa. Koealoilta mitataan jokaisen puun läpimitta sekä puulajeittain koepuita. Koepuista mitataan pituus desimetrin tarkkuudella. Mittaukset tehdään yleensä keilauksen jälkeen tarkoilla mittalaitteilla, kuten Masser-mittasaksilla ja Vertex-laseretäisyysmittarilla, ja **mittauksen tekee yleensä keilauksen suorittava organisaatio tai palveluntoimittaja**. (Laamanen 2009.)

Taimikoissa referenssikoealojen muodostaminen eroaa edellisestä siten, että yksittäisten koealojen sijaan muodostetaan koealaryppäitä. Jokainen koealaryppäs koostuu neljästä ympyräkoealasta, joiden jokaisen säde on neljä metriä ja pinta-ala 50 neliömetriä. Ympyräkoealoilta luetaan runkoluvut puulajeittain sekä mitataan keskipituus puulajeittain puolen metrin pituusluokkia käyttäen. Lopuksi jokaisen koealaryppään ympyräkoealoilta mitatuista tunnuksista lasketaan keskiarvot ja jokaiselle koealaryppäälle määritetään hoitotoimenpiteiden kiireellisyysluokitus (”heti”, ”1 - 5 vuoden kuluessa”, ”ei hoitotarvetta”). Kuvassa 4 on esitetty koealaryppään mittaamisperiaate. Jokaisen neljän ympyräkoealan keskipiste on sijoitettu 5,66 metrin päähän koealaryppään keskipisteestä pääilmansuuntien mukaan. (Närhi ym. 2008, 7 - 8.)



Kuva 4. Koelaryypään mittaamisperiaate (Närhi ym. 2008, 8.)

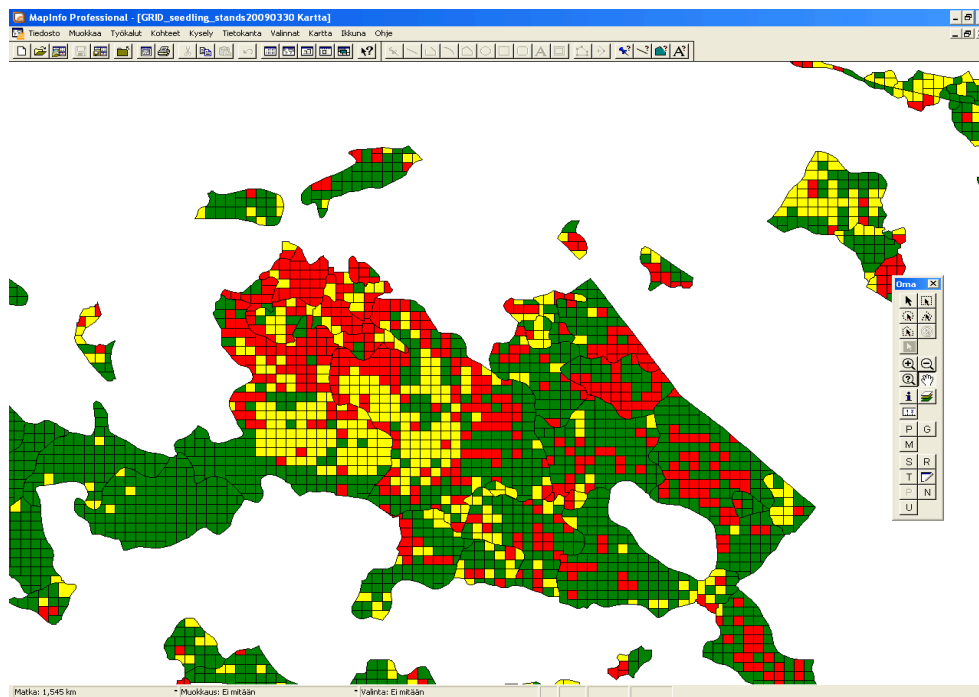
Kuhmon laserkeilausprojektia varten referenssikoealoja mitattiin taimikoista 63 kappaletta, joista 45 kappaletta kivennäismailta ja 18 kappaletta turvemailta (Arbonaut Oy 2009b, 3).

2.2 Keilausaineiston esikäsittely

Laserkeilausaineiston toimittajalta saatiin sekä mikrokuvio- että hilaperusteinen tulkintatulos. Mikrokuviointia ei pidetty Metsähallituksessa riittävän onnistuneena, joten liikkeelle lähdettiin hila-aineistosta, jonka tulkintatulos näytti paremmalta. Seuraavassa on esitetty päällisin puolin menetelmät, joilla keilausaineiston toimittajalta saadut tulkintatulokset muokattiin mikrokuvioinniksi.

Laseraineiston ja ilmakuvien avulla laaditaan niin sanottu puustokuviointi (mikrokuviointi). Puustokuvioinnilla haetaan pieniä puustoltaan yhtenäisiä kuvioita, joiden keskikoko on noin puoli hehtaaria, kuitenkin vähintään 0,3 hehtaaria. Mikrokuvioinnin laadinnassa käytetään hyväksi laserpulssien korkeustietoja, pulssien kasvillisuudesta palanneen osan määrää sekä ilmakuvilta lehtipuun osuutta. Puustokuvioinnin on ajateltu toimivan puustotiedon perustietotasona, jonka pohjalta voidaan laatia toimenpidekuvioita. Tätä työvaihetta kutsutaan segmentoinniksi. (Laamanen 2009.)

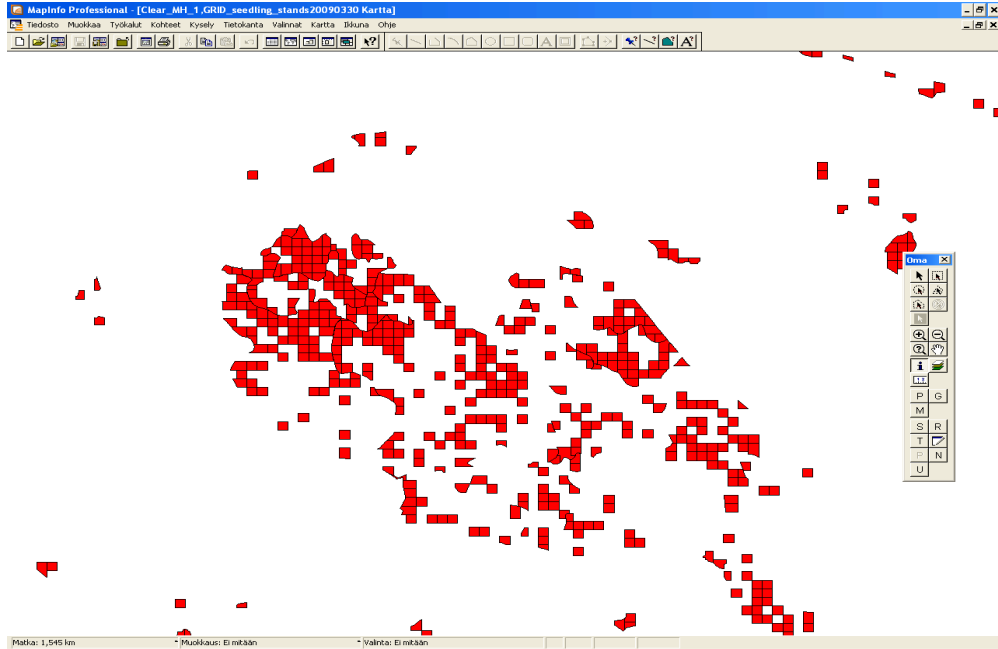
Kuvassa 5 esitetään MapInfo Professional -ohjelmistolla avattu lähtötilanne, jossa on näkyvillä vain laserkeilaimen muodostama ruudukko. Ruudut ovat kooltaan 16 metriä x 16 metriä, ja jokaiselle niistä on laskettu keskiarvot eri puustotunnuksista, esimerkiksi runkoluvusta ja pituudesta. (Määttä 2009.)



Kuva 5. Laserkeilainaineiston käsittelyn alkutilanne. Eri värit kuvaavat hoitotarveluokkia siten, että punaisella esitetään kiireellisen hoitotarpeen kriteerit täyttävät ruudut ja vihreällä ruudut, joille ei ennusteta hoitotarvetta. Keltaisella kuvataan ruudut, jotka kuuluvat luokkaan ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa”. (Määttä 2009.)

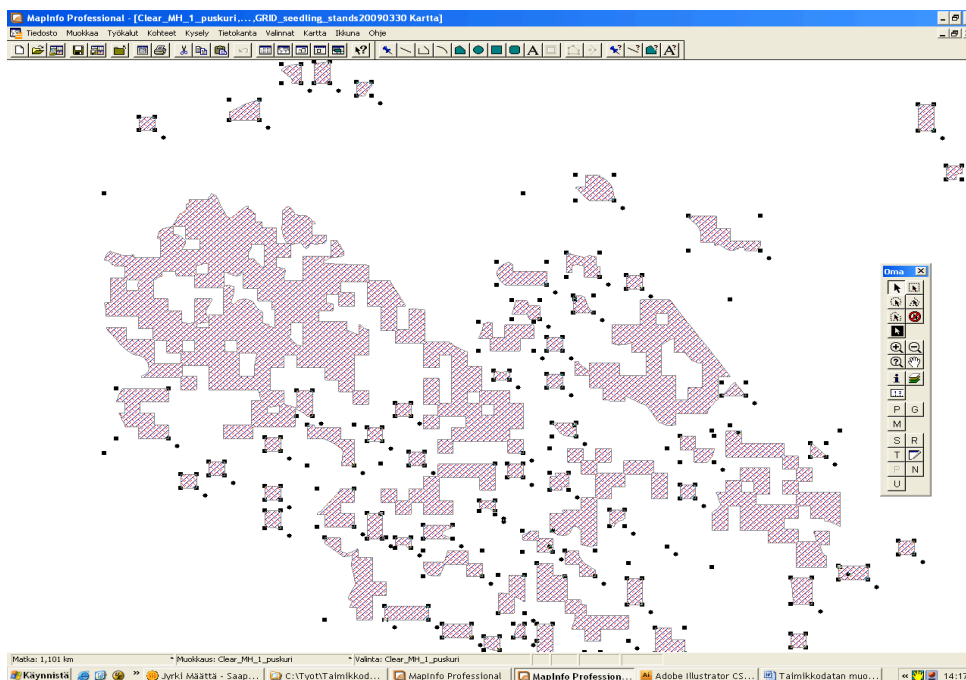
Laserkeilausaineisto on jaettu kolmeen hoitoluokkaan runkoluvun sekä kokemusperäisen maastotarkastelun perusteella referenssikoealojen mittauksen yhteydessä. Luokkaan ”hoitotarve heti” (MH1) kuuluvat kohteet, joille olisi välittömästi jo saman kesän aikana tehtävä taimikonperkaus tai taimikonhoito. Käytännössä tällaisilla kohteilla taimikonhoitotoimenpiteet ovat jo myöhässä. Runkoluku näillä kohteilla on yli 3 000 runkoa/ha. Luokkaan ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” (MH2) kuuluvilla kohteilla hoitotarpeen arvellaan olevan edessä 1 - 5 vuoden kuluessa. Runkoluku asettuu tällaisilla kohteilla välille 2 000 - 3 000 runkoa/ha. Luokassa ”ei hoitotarvetta” (MH3) hoitotarvetta ei ole näköpiirissä seuraavan viiden vuoden aikana ja runkoluku on alle 2 000 runkoa/ha. (Peuhkurinen 2010.)

Seuraavaksi hoitotarveluokat erotellaan omiksi tasokseen MapInfo Professional -ohjelmiston SQL-kyselyllä. Kuvassa 6 ”hoitotarve heti” -luokan ruudut on erotettu omaksi tasokseen. (Määttä 2009.)



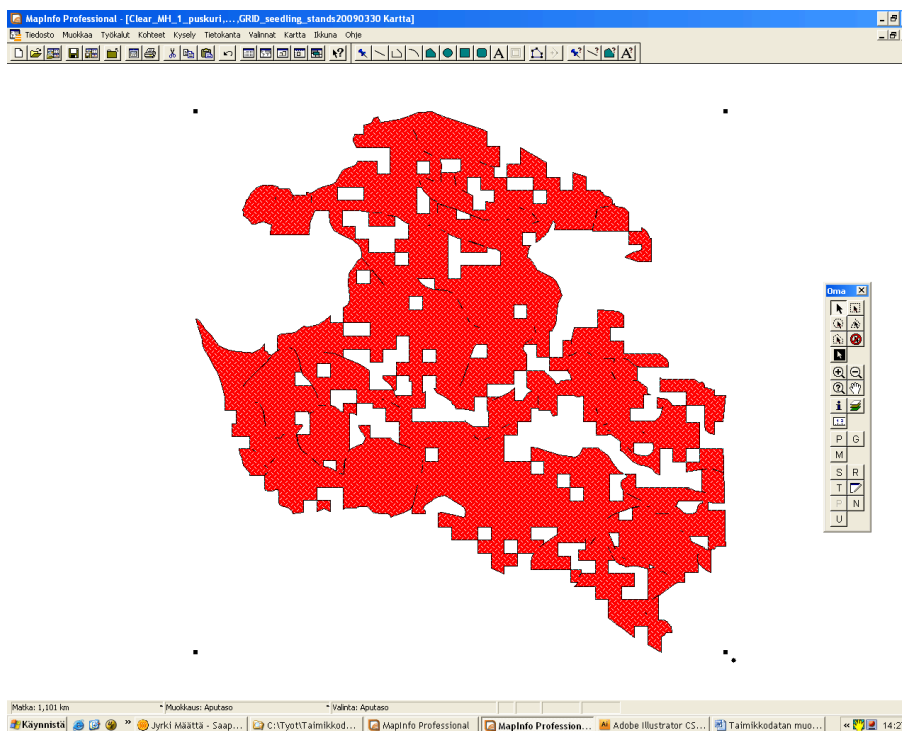
Kuva 6. Omaksi tasokseen eroteltuja ”hoitotarve heti” -luokan ruutuja (Määttä 2009.)

Hoitotoimenpideluokkien erottelun jälkeen jokaiselle ruudulle muodostetaan niin sanottu puskuri. Puskurin tarkoituksena on aikaansaada ruuduista järkevä kokoisia kokonaisuuksia, tässä tapauksessa vähintään 0,3 hehtaarin kokoisia mikrokuvioita (kuva 7). Puskurit ovat noin metrin verran ympäröimiään ruutuja leveämpiä, eli myös osa naapuriruuduista ja samalla naapuriruutujen puustotunnuksista tulee mukaan puskuuriin. (Määttä 2009.)



Kuva 7. Ruutujen ympärille muodostettu puskuri (Määttä 2009.)

Puskuri-toiminnon avulla käsitellyt ruudut kattavat suuremman alueen kuin yksittäiset ruudut, minkä vuoksi jokaiselle puskurille täytyy laskea uudet keskitunnukset. Ensin selvitetään SQL-kyselyllä kunkin puskurin alueella olevat ruudut. Kun jokaiseen erilliseen puskuriin kuuluvat ruudut on saatu samaan joukkoon, yhdistetään puskurille sattuvien ruutujen ominaisuustiedot ja lasketaan näistä keskiarvot. Lopputuloksena saadaan aikaiseksi kuvioaineisto, jossa samaan hoitotarveluokkaan kuuluvat ruudut muodostavat kuvioita, joille on laskettu ominaisuustiedoiksi ruutujen keskiarvot (kuva 8). (Määttä 2009.)



Kuva 8. Lopputuloksena samaan hoitotarveluokkaan kuuluvat ruudut ovat yhdistetty suuremmaksi kokonaisuudeksi (Määttä 2009.)

Ilman edellä mainittuja toimenpiteitä suuri osa mikrokuvioista olisi vain yhden tai muutaman ruudun kokoisia (noin 0,02 - 0,08 hehtaaria). Näillä toiminnoilla saadaan aikaiseksi huomattavasti enemmän käyttökelpoisia, vähintään 0,3 hehtaarin kokoisia mikrokuvioita maastotarkastusta varten. Siitä huolimatta osa kuvioista jää liian pieniksi, joten niitä ei voida ottaa mukaan maastoinventointiin. Mikrokuvioiden minimikoa voidaan kasvattaa puskuria leventämällä, mutta tällöin tulosten luotettavuus heikentyy: jos tiheän puuston ympärillä on harvaa puustoa, keskiarvojen ottaminen vääristää kuvioiden puustotunnuksia ja voi johtaa väärin toimenpide-ehdotusten esittämiseen.

2.3 Koealojen koko, määrä ja otanta

Laajasta laserkeilausaineistosta oli etukäteen poistettu kaikki mikrokuviot, joiden pinta-ala oli alle 0,3 hehtaaria. Vähintään 0,3 hehtaarin kokoisia ja suurempia mikrokuvioita oli kaikkiaan 4 419 kappaletta. Alustavasti tarkoituksena oli saada tarkempaan tarkasteluun noin kymmenesosa kuvioista, mikä jo alkuvaiheessa osoittautui työaikaan nähden mahdottomaksi. Otantaa tarkistettiin ja päädyttiin saamaan inventoitavaksi

noin viisi prosenttia kuvioista. Maastotöiden nopeuttamiseksi muutamia kaukana ajokelpoisista metsäteistä sijaitsevia yksittäisiä kuvioita jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Tutkimuksen pääpainona oli saada mahdollisimman suuri vertailujoukko laseraineistolle, joten yksittäisten kuvioiden poisjääminen ei vaikuttanut lopputulokseen. Jokaisen kolmen hoitotarveluokan otanta tehtiin erikseen Microsoft Excel -ohjelmiston satunnaisotannalla.

Maastomittauksiin kului kaikkiaan 38 työpäivää. Tuossa ajassa maastossa mitattiin yhteensä 227 mikrokuvioita, joiden yhteispinta-ala oli 233,4 hehtaaria (taulukko 1). ”Hoitotarve heti” -luokan (MH1) kuvioita inventoitiin 67 kappaletta, eli tämän luokan otannaksi tuli 6,0 prosenttia. ”Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan (TH2) kuvioita oli myös 67 kappaletta, ja otanta oli 5,5 prosenttia. ”Ei hoitotarvetta” -luokka (TH3) oli määrällisesti suurin: tarkastelun kohteena oli 93 kuvioita otannan ollessa 4,4 prosenttia. Kaiken kaikkiaan otannaksi tuli 5,1 prosenttia. ”Hoitotarve heti” -luokan kuvioista kivennäismailla oli 37 ja turvemailla 30 kappaletta. ”Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokassa kivennäismailla oli 31 ja turvemailla 36 kuvioita, sekä ”ei hoitotarvetta” -luokassa kivennäismaiden kuvioiden osuus oli 46 ja turvemaiden 47 kappaletta.

Taulukko 1. Otantaan valikoitujen mikrokuvioiden sekä koko laserkeilausaineiston kuvioiden lukumäärät ja pinta-alat hoitotarveluokittain

Toimenpide	Otanta (kpl)	Otannan pinta-ala (ha)	Kaikki kuviot (kpl)	Kaikki kuviot pinta-ala (ha)
TH1	67	68,1	1 111	1 353,2
TH2	67	46	1 216	857,7
TH3	93	119,3	2 092	3 185,5
Yhteensä	227	233,4	4 419	5 396,4

Kuvioiden keskikoko vaihteli hiukan hoitoluokan ja maalajin mukaan. Kivennäismailla mikrokuvioiden keskikoko oli 1,13 hehtaaria ja turvemailla 0,93 hehtaaria. Hoitoluokittain kuvioiden keskikoot olivat seuraavat: ”hoitotarve heti” 1,02 hehtaaria, ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” 0,69 hehtaaria ja ”ei hoitotarvetta” 1,28 hehtaaria. Kaikki kuviot mukaan lukien keskikooksi tuli 1,03 hehtaaria.

Kivennäismailla suurin kuvio oli kooltaan 8,06 hehtaaria ja pienin 0,31 hehtaaria. Ku-

vioiden yläkvartaali oli 1,30 hehtaaria, mediaani 0,68 hehtaaria ja alakvartaali 0,43 hehtaaria. Turvemaakuvioilla suurimman kohteen pinta-ala oli 9,23 hehtaaria. Yläkvartaali oli 0,99 hehtaaria, mediaani 0,54 hehtaaria, alakvartaali 0,43 hehtaaria ja pienin kuvio 0,30 hehtaaria.

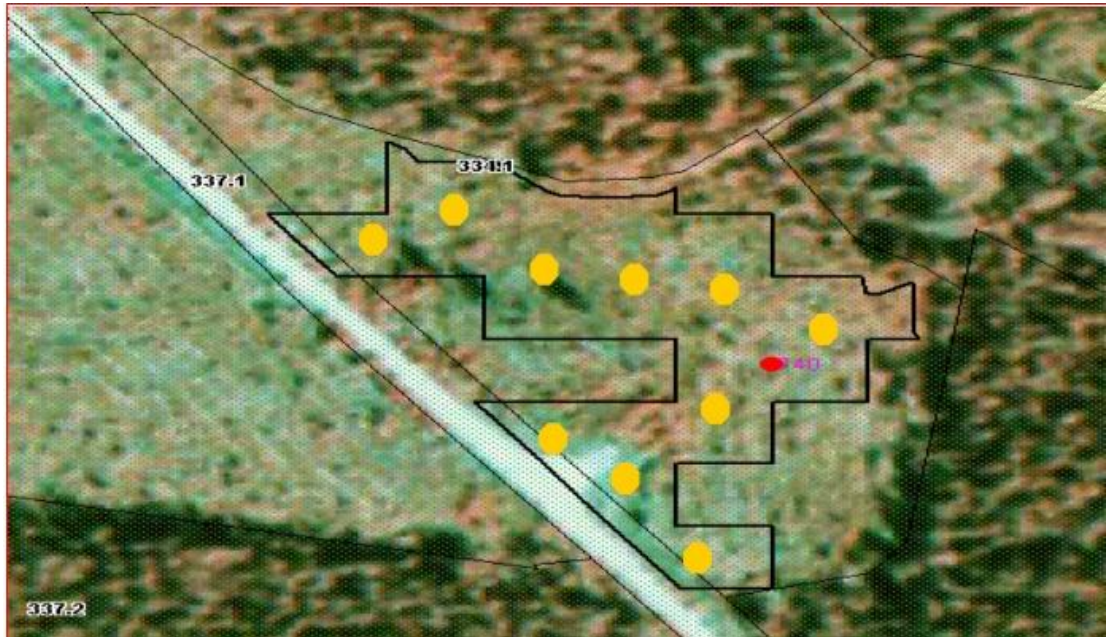
2.4 Maastomittaukset

Jokainen otantaan otettu mikrokuvio inventoitiin maastossa. Kuviot paikannettiin tarkasti GPS-laitteella. Paperikartan avulla ei olisi päästy riittävään tarkkuuteen, koska mikrokuviot olivat keskikooltaan hyvin pieniä ja muodoltaan epäsymmetrisiä. GPS-paikannin oli integroitu yhteen maastotallentimen kanssa mahdollistaen paikantamisen lisäksi tietojen tallentamisen yhtä ja samaa laitetta käyttäen. Mikrokuvioiden sijaintipisteet ja kuvioiden rajat tallennettiin etukäteen maastotallentimeen kerran tai pari viikossa ja tulokset purettiin tallentimesta tietokoneelle kerran viikossa, yleensä työviiikon lopussa. Näin toimiston ja maastokohteen välinen matkustaminen saatiin minimoitua ja työskentelyä nopeutettua. Kuviotiedot tallennettiin itse tehdyille Excel-pohjalle.

Maastotallentimena käytettiin Intermec 700C -kämmentietokonetta, jonka käyttöjärjestelmänä oli Maastogis-sovellus. Sovellus käytti Sutigis-paikkatietoaineistoa tietolähteenään. GPS-vastaanottimen merkki oli Insmat SiRF III, joka toimi ulkoisena antennina maastotallentimelle. GPS-laitteen paikkatiedot siirrettiin bluetooth-yhteydellä maastotallentimelle ja maastotallentimelle kerätyt tiedot langallisen yhteyden avulla Maastogis-sovelluksesta Sutigis-ohjelmistoon. (Orre 2010.)

Jokaiselta mikrokuvioilta mitattiin 4 - 12 koealaa, kuvion koon ja puuston laadun mukaan. Pieniltä ja puustoltaan tasaisilta kuvioilta koealoja otettiin vähemmän kuin suurilta ja puustoltaan epätasaisilta kuvioilta. Systemaattisen koealaverkon käyttöön ei päädytty, koska sitä ei pidetty tarpeellisena tutkimuksen kannalta. Koealat sijoitettiin sen sijaan siten, että kuviot tulivat kauttaaltaan koealaverkon piiriin (kuva 9). Koska mikrokuviot olivat pinta-alaltaan pieniä, sijoittelu tehtiin silmämääräisesti kuitenkin niin, että koealojen väliset etäisyydet mitattiin askelmitalla. Tarkoituksena oli saada

mahdollisimman laaja ja peittävä koealaverkosto jokaiselle mikrokuviolle. Kuvassa 8 alle puolen hehtaarin kuviolle on sijoitettu kymmenen koealaa.



Kuva 9. Mikrokuvio 740p (0,46 hehtaaria). Punaisella on merkitty kuvion sijaintipiste ja keltaisella havainnollistettu koealaverkkoa.

Jokaiselta mikrokuviolta selvitettiin runkoluku, pituus ja puulajisuhteet koealoittain ympyräkoealoina. Runkoluku mitattiin neljän metrin onkivapaa käyttäen (3,99 metriä), jolloin yksi kokonainen pyörähdys vastasi 50 neliometriä. Taimien hehtaarikohmainen runkoluku saatiin kertoimella 200. Runkoluku mitattiin jokaiselta koealalta sadan rungon tarkkuudella. Mikrokuvioiden hehtaarikohtainen runkoluku saatiin jakamalla kokonaisrunkoluku koealojen määrällä. Runkoluku mitattiin jaksoittain, jos kuvion puusto sitä edellytti. Kivennäismailla puusto jaettiin jaksoihin, jos vallitsevan jakson ja alikasvoksen pituusero oli silmämääräisesti tarkastellen vähintään kolme metriä. Turvemailla mitattiin erikseen vallitsevan jakson ja alikasvoksen puustotunnukset, jos jaksojen keskipituuksien ero oli ennen mittausten aloittamista silmämääräisesti arvioiden vähintään 4 - 5 metriä. Turvemailla puuston pituusvaihtelu on luonnostaan paljon suurempaa kuin kivennäismailla suurelta osin sen vuoksi, että turvemaiden puusto on luontaisesti syntyneitä. Lisäksi kasvupaikan kosteusolot vaihtelevat turvemailla enemmän kuin kivennäismailla.

Pituus mitattiin niin ikään jokaiselta koealalta neljän metrin onkivapaa apuna käyttäen noin puolen metrin tarkkuudella. Jos kuvion puusto edellytti puuston jakamista vallitsevaan jaksoon ja alikasvokseen, mitattiin kullekin jaksolle oma keskipituus. Neljä metriä ylittävä osuus puuston pituudesta arvioitiin silmämääräisesti. Kuvioilta, joilla puusto jaettiin jaksoihin, laskettiin lopuksi puuston runkoluvulla painotettu keskipituus.

Runkoluku- ja pituuskriteereiden täytyminen ei automaattisesti takaa taimikonhoitotarvetta. Pituusarvio on suuntaa-antava, mutta pituudeltaan alle 5-metrisissä taimikoissa kohtalaisen tarkka etenkin istutuskohteilla, joissa puuston pituusvaihtelu on yleensä vähäistä. Runkoluvun ja pituuden lisäksi selvitettiin lehtipuuston ja havupuuston osuudet prosentteina kappalelaskurin avulla.

Tärkeimpänä tunnuksena maastossa määritettiin Metsähallituksen taimikonhoidon työohjeita noudattaen (Leskinen 2007) pituus- ja runkolukumittausten pohjalta hoitoehdotus ja kiireellisyys jokaiselle mikrokuviolle. Hoitoehdotukset olivat taimikonperkaus, taimikonharvennus tai ei toimenpiteitä. Kiireellisyys jaettiin kolmeen luokkaan, jotka olivat ”heti”, ”1 - 5 vuoden kuluessa” ja ”ei hoitotarvetta”. Kiireellisyyden luokittelu on siten verrannollinen laseraineiston luokitteluun.

Ylimääräisinä tietoina jokaiselta mikrokuviolta kirjattiin pääpuulaji (mänty, kuusi, muu), uudistamistapa (luontainen, kylvä, istutus), maanmuokkaustapa (äestys tai laikutus, mätästys, auraus), maalaji (kivennäismaa, turvemaa) ja ojitustilanne (ojitettu, luonnontilainen). Nämä tiedot arvioitiin tutkimuksen ulkopuolelta kuitenkin silmällä pitäen sitä mahdollisuutta, että näiden pohjalta löytyisi jokin mahdollinen syy-seuraussuhde selittäväksi tekijäksi. Joillakin kuvioilla uudistamistavan arviointi oli hankalaa: luontaisesti uudistuneet ja kylvetyt kohteet olivat usein hyvin samankaltaisia puuston tilajakaumaltaan. Näissä tapauksissa uudistamistavaksi kirjattiin aikaisempiin kuviotietoihin merkitty uudistamistapa.

2.5 Metsähallituksen taimikonhoito-ohjeet

Taimikonperkauskohteet

Männynntaimikot perataan siinä vaiheessa, kun taimien keskipituus on puolesta metrissä kahteen metriin. Perkauksessa poistetaan lehtipuusto, jonka pituus on enemmän kuin puolet männyn pituudesta. Havupuuta jätetään runsaasti ja tuppaat harvennetaan. Reikäperkaus tulee kyseeseen niissä kuvioilla, joilla havupuutaimia on alle 1 500 kappaletta hehtaarilla. Reikäperkauksessa poistetaan vain havupuiden kasvua haittaava lehtipuusto kasvatettavien taimien ympäriltä. Jätettävä lehtipuusto on yleensä mäntyä pienempää. (Leskinen 2007.)

Kuusentaimikoissa poistetaan reikäperkauksena lehtipuusto, joka pidempänä ja tiheänä varjostaa yli metrin pituista havupuutaimikkoo. Lehtipuusto poistetaan metrin säteeltä kasvatettavien havupuiden ympäriltä. (Leskinen 2007.)

Taimikonharvennuskohteet

Männynntaimikot harvennetaan, kun taimien pituus on kolmesta kuuteen metriä ja taimikon tiheys yli 2 500 runkoa/ha. Männiköt harvennetaan tiheyteen 1 600 - 2 200 runkoa/ha. Kuusikot harvennetaan pituuden ollessa kahdesta neljään metriin ja tiheyden yli 2 500 runkoa/ha. Harvennuksen jälkeen tulee jäädä 1 800 kasvatuskelpoista kuusentainta hehtaarille. (Leskinen 2007.)

Männiköissä ja kuusikoissa kasvatettavien puiden ympäriltä raivataan kaikki kasvua haittaavat taimet, ja muualta poistetaan huonokuntoiset havupuut sekä liika havu- ja lehtipuusto, joiden pituus on yli puolet taimikon keskipituudesta. Lehtipuusekoitus on suositeltavaa, ja se voi nostaa runkolukua noin kymmenellä prosentilla. (Leskinen 2007.)

Hieskoivikot harvennetaan 3 - 6 metrin pituusvaiheessa, jos taimikon tiheys on yli 2 500 runkoa/ha. Tavoitetiheys on 2 000 - 2 500 runkoa/ha. Rauduskoivikot ja lehtikuusikot harvennetaan pituuden ollessa 3 - 6 metriä tiheyteen 1 600 runkoa/ha. (Leskinen 2007.)

2.6 Tilastolliset menetelmät

Virhematriisi on menetelmä, jonka avulla voidaan testata luokkamuuttujien estimoinnin onnistumista. Matriisi kertoo, kuinka monta havaintoa mistäkin luokasta on estimoitu oikein ja kuinka monta virheellisesti. Virhematriisi on $n \times n$ -kokoinen matriisi, jonka rivit kuvaavat mitattuja ”todellisia” luokkia ja sarakkeet ennustettuja luokkia. N tarkoittaa arvioitavien luokkien määrää. Matriisin tuottamia tunnuslukuja ovat oikeinluokitusprosentti ja kappa-arvo (Tuominen 2003.)

2.6.1 Oikeinluokitusprosentti

Oikeinluokitusprosentti lasketaan jakamalla oikeaan luokkaan osuneiden havaintojen määrä kaikkien havaintojen määrällä. Oikeinluokitusprosentti ei anna todellista kuvaa aineiston luokituksen onnistumisesta kaikissa tapauksissa. Jos yhden luokan osuus aineistosta on suhteettoman suuri muihin verrattuna, saattaa satunnainenkin luokitus tuottaa suuren oikein luokitettujen osuuden (Tuominen 2003.) Tässä tutkimuksessa tarkasteltavat luokat olivat hyvin samansuuruisia, joten oikeinluokitusprosentteja voidaan pitää vertailukelpoisina.

2.6.2 RMSE-analyysit

RMSE-analyysi (keskineliön keskivirhe) on usein käytetty menetelmä, jolla mitataan ennustettujen ja havaittujen arvojen eroja. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan runkoluvun ja pituuden RMSE-analyysijä. Laskenta tapahtuu siten, että maastossa mitatuista runkoluku- tai pituusarvoista vähennetään laserkeilainmenetelmän avulla ennustetut runkoluku- tai pituusarvot kuvioittain, minkä jälkeen saatu erotus korotetaan toiseen potenssiin. Lopuksi jokaisen kuvion tulokset lasketaan yhteen ja jaetaan kuvioiden lukumäärällä. Tästä tuloksesta otetaan neliöjuuri, joka on absoluuttinen RMSE-arvo (kaava 1). Tämä arvo kuvaa runkoluvun ja pituuden keskimääräistä virhettä. Suhteellinen RMSE-luku saadaan jakamalla absoluuttinen RMSE-arvo maastossa mitatun suureen keskiarvolla, joka kerrotaan sadalla prosentilla (kaava 2).

$$\text{RMSE (absoluuttinen)} = \sqrt{\frac{\sum(\text{mitattu arvo} - \text{ennustettu arvo})^2}{\text{kuvioiden lukumäärä}}} \quad (1)$$

$$\text{RMSE (suhteellinen)} = \frac{\text{RMSE (absoluuttinen)}}{\text{maastossa mitattujen tulosten keskiarvo}} \times 100 \% \quad (2)$$

2.6.3 Harha

Harhalla tarkoitetaan otoksen tai näytteen systemaattista poikkeavuutta perusjoukosta. Harhattomuus tarkoittaa sitä, että arvioitavalle muuttujalle tuotetaan keskimäärin oikean kokoisia arvoja. Yksittäisissä tilanteissa estimaattorin tuottama arvo muuttujalle saattaa poiketa paljonkin muuttujan todellisesta arvosta. Kuitenkin hyvän estimaattorin tuottamat arvot vaihtelevat vain vähän muuttujan todellisen arvon ympärillä. (Mellin 2006, 78.)

Harha lasketaan tässä tutkimuksessa siten, että maastossa mitatuista suureista vähennetään laserkeilaimella ennustettu suure kuvioittain. Erotukset lasketaan lopuksi yhteen ja jaetaan kuvioiden lukumäärällä, mistä saadaan tarkasteltavan suureen (runkoluvun tai pituuden) absoluuttinen harha runkoa/ha tai metriä/kuvio (kaava 3). Suhteellinen harha saadaan jakamalla absoluuttinen harha maastossa mitattujen suureiden keskiarvolla ja kertomalla osamäärä sadalla prosentilla (kaava 4).

$$\text{Harha (absoluuttinen)} = \frac{\sum(\text{mitattu arvo} - \text{ennustettu arvo})}{\text{kuvioiden lukumäärä}} \quad (3)$$

$$\text{Harha (suhteellinen)} = \frac{\text{Harha (absoluuttinen)}}{\text{maastossa mitattujen tulosten keskiarvo}} \times 100 \% \quad (4)$$

3 TULOKSET

3.1 Toimenpide-ehdotusten tarkastelu

3.1.1 Kaikki kuviot

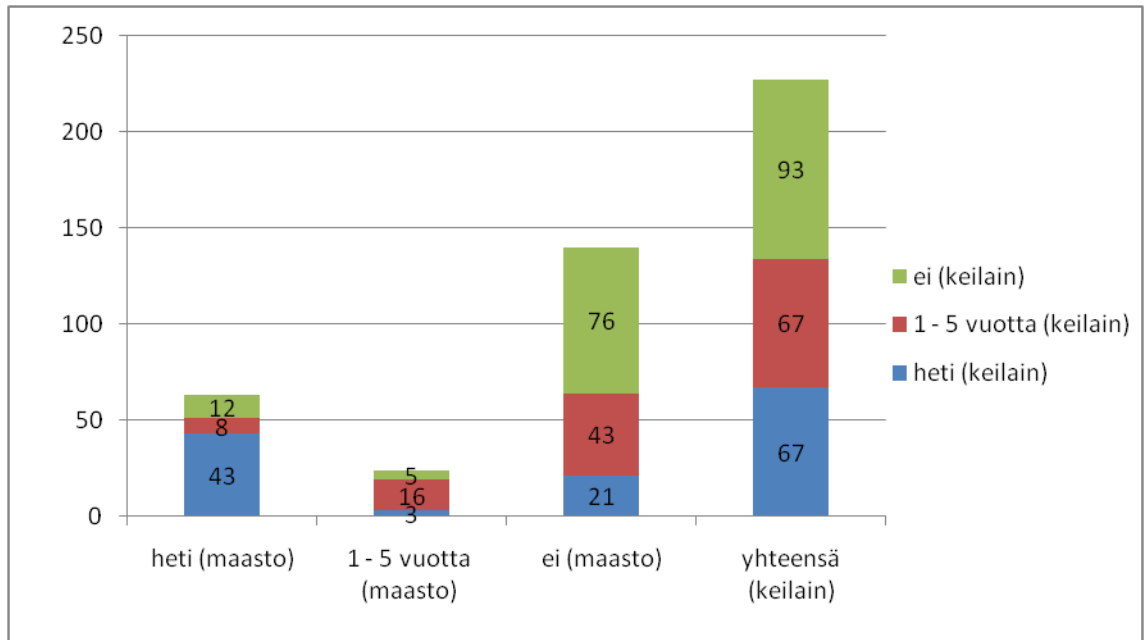
”Hoitotarve heti” -luokan kuvioita oli yhteensä 67 kappaletta. Kivennäismailla kuvioita oli 37 ja turvemaidella 30 kappaletta. Luokassa ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” kuvioita oli myös 67 kappaletta, joista kivennäismailla 31 ja turvemaidella 36 kappaletta. ”Ei hoitotarvetta” -luokan kuvioita oli yhteensä 93. Näistä kivennäismailla oli 46 ja

turvemailla 47 kuviota. Kuvassa 10 vertaillaan maastotarkastelun perusteella esitettyjä ja lasertulkinnalla johdettuja toimenpide-ehdotuksia toisiinsa.

Maastotarkastelun jälkeen 63 kuviolle ehdotettiin kiireellistä hoitotarvetta. Näistä kuvioista lasertulkinnan perusteella samaan tulokseen päädyttiin 43 kohteella. Kahdeksalle kuviolle esitettiin lasertulkinnalla hoitotarvetta 1 - 5 vuoden kuluessa ja 12 kuviolle ei ehdotettu toimenpiteitä seuraavien viiden vuoden aikana.

Viiden vuoden sisään ajoitettavia hoitotoimenpiteitä havaittiin maastoinventointien jälkeen 24 kuviolla. Lasertulkinnan mukaan vastaavan hoitoajoituksen kuvioita oli 67 kappaletta. Maastotarkastelun perusteella lasertulkinnan 67 kuvioista kahdeksalle esitettiin kiireellistä hoitotarvetta, 16:lle hoitotarvetta 1 - 5 vuoden kuluessa ja 43:lle ei hoitotarvetta lainkaan. Vastaavasti maastoinventointien jälkeen luokkaan ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” ehdotetuista 24 kohteesta lasertulkinnan perusteella 16 kuviolle toimenpiteet ajoittuvat 1 - 5 vuoden sisään. Viidellä kuviolla lasertulkinnan perusteella ei havaittu hoitotarvetta ja kolmelle kohteelle esitettiin kiireellistä taimikonhoitoa.

”Ei hoitotarvetta” -luokkaan määritettiin maastotarkastelun perusteella 140 kuviota. Näistä kuvioista samaan tulokseen päädyttiin laserinventointien perusteella 76 kuviolle. 43 kuviolle laserkeilaimen tulosten tulkinnan perusteella ennustettiin hoitotarvetta 1 - 5 vuoden kuluessa ja 21 kuviolle kiireellistä hoitotarvetta.



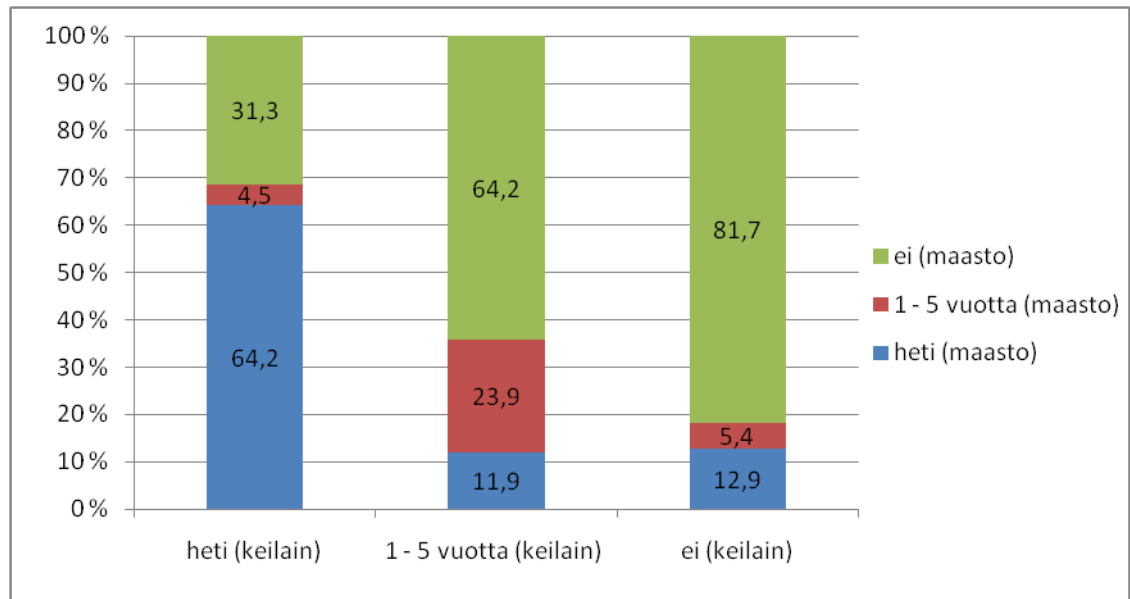
Kuva 10. Taimikonhoitotoimenpiteiden jakautuminen eri toimenpideluokkiin maasto- ja laserinventointien perusteella. Kuvan kolme ensimmäistä pylvästä vasemmalta lukien kuvaavat maastotarkastelun perusteella ehdotettuja toimenpiteitä hoitotarveluokittain. Väreillä esitetään lasertulkinnalla saadut toimenpide-ehdotukset hoitoluokittain.

Kiireellisen hoitotarpeen kuvioista 64,2 prosentilla saatiin sama toimenpide-ehdotus ja ajoitus sekä lasertulkinnalla että maastotarkastelussa. Kuvioista, joille ehdotettiin lasertulkinnan jälkeen kiireellistä hoitotarvetta, ei maastomittausten jälkeen havaittu olevan tarvetta taimikonhoitotoimenpiteille 31,3 prosentilla kohteista. 4,5 prosentilla kuvioista toimenpiteet määritettiin maastokäynnin perusteella tehtäväksi 1 - 5 vuoden kuluessa (kuva 11).

Kuvioilla, joille ennustettiin hoitotarvetta 1 - 5 vuoden kuluessa, samaan tulokseen päädyttiin maastotarkastusten jälkeen 23,9 prosentilla kohteista. 64,2 prosenttia kuvioista siirrettiin hoitotarveluokkaan ”ei hoitotarvetta” ja 11,9 prosenttia luokkaan ”hoitotarve heti”.

”Ei hoitotarvetta” -luokassa maastotarkastelun jälkeen ehdotetut ja laserkeilaimen tulosten pohjalta ennustetut toimenpide-ehdotukset olivat samanlaiset 81,7 prosentilla kuvioista. Maastoinventointien ja silmämääräisen tarkastelun perusteella tämän luokan kuvioista 18,3 prosentilla havaittiin hoitotarvetta. 12,9 prosentilla hoitotarpeen ajoi-

tukseksi määritettiin kiireellinen ja 5,4 prosentilla kohteista 1 - 5 vuoden kuluessa tapahtuva.



Kuva 11. Toimenpide-ehdotusten vertailu. Vaaka-akselilla esitetään laserin tulkintatulosten perusteella esitetyt toimenpide-ehdotukset, joihin maastoinventointien perusteella määritettyjä toimenpiteitä verrataan.

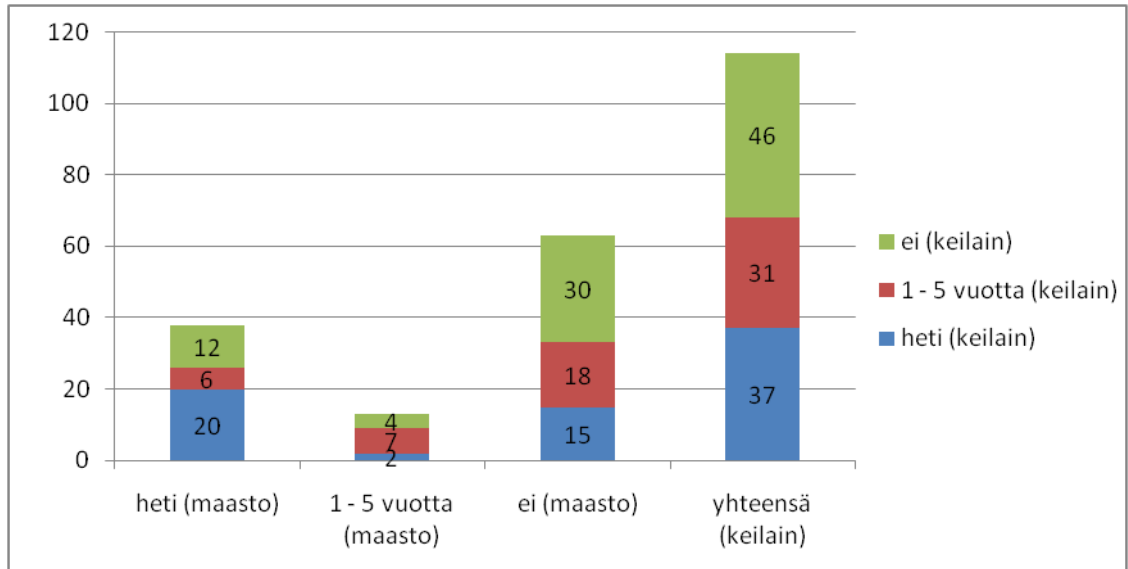
3.1.2 Kivennäismaat

Kivennäismailla laserkeilaustulosten tulkinnan perusteella ehdotettiin kiireellistä hoitotarvetta 37 kuviolle ja hoitotarvetta 1 - 5 vuoden kuluessa 31 kuviolle. Hoitotarvetta ja ajoitusta ei määritelty 46 kuviolle. Maastoinventointien jälkeen kiireellistä hoitotarvetta vaativia kuvioita havaittiin 38 kappaletta. Kohteita, joille toimenpiteet tulevat ajankohtaisiksi 1 - 5 vuoden kuluessa, löydettiin 13 kappaletta, ja kohteita, joille ei esitetty hoitotarvetta, 63 kappaletta.

Kuvassa 12 maastomittausten perusteella tehtyjä toimenpide-ehdotuksia verrataan laserkeilaimen tulkintatulosten pohjalta esitettyihin ehdotuksiin. Laserkeilaimen kiireellisiksi ehdottamista 37 kuvioista samaan tulokseen päädyttiin maastomittausten jälkeen 20 kuviolla. Kaksi kuviota siirrettiin maastotarkastelun perusteella hoitotarveluokkaan ”1 - 5 vuoden kuluessa” ja 15 kappaletta luokkaan ”ei hoitotarvetta”. Kuvioista, joilla keilaustulosten tulkinnan perusteella oletettiin olevan hoitotarvetta seuraavien 1 - 5 vuoden kuluessa, samaan tulokseen päädyttiin maastotarkastuksen jälkeen

seitsemällä kuviolla. Kuudella kuviolla todettiin kiireellinen taimikonhoitotarve eikä 18 kuviolla hoitotarvetta lainkaan.

”Ei hoitotarvetta” -luokkaan ennustetuista 46 kuviosta maastoinventointien jälkeen ehdotettiin kiireellistä hoitotarvetta 12 kuviolle ja hoitotarvetta 1 - 5 vuoden kuluessa neljälle kuviolle. Hoitotarvetta ei määritetty 30 kuviolle.

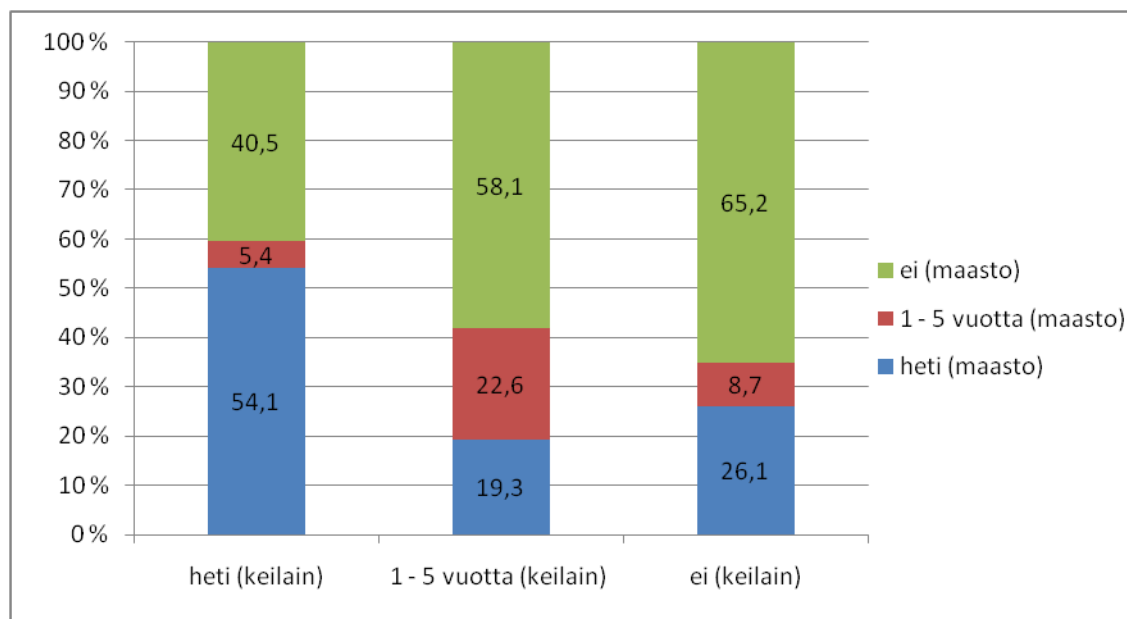


Kuva 12. Toimenpide-ehdotusten tarkastelu kivennäismaakohteilla. Kolme ensimmäistä pylvistä vasemmalta lukien esittävät maastotarkastelun perusteella määritettyjen toimenpiteiden ajoituksia, väreillä kuvataan lasertulkinnalla ennustettujen toimenpiteiden ajoitusta.

Suhteellisesti tarkasteltuna parhaaseen tulokseen menetelmien välillä päädyttiin ”ei hoitotarvetta” -luokassa, jossa 65,2 prosentilla kohteista hoitotoimenpiteiden ajoitus oli sama sekä maastotarkastelun että lasertulkinnan perusteella. Kuvioista, joille lasertulkinnan perusteella ehdotettiin kiireellistä taimikonhoitoa, päädyttiin maastoinventointien jälkeen samaan tulokseen 54,1 prosentilla kohteista. 40,5 prosentilla näistä kuvioista ei maastokäynnin seurauksena löydetty taimikonhoitotarvetta ja 5,4 prosentilla taimikonhoidon ajoitukseksi esitettiin 1 - 5 vuoden kuluessa tapahtuvaa. Kuvassa 13 on vertailtu toimenpide-ehdotusten suhteellista oikeinluokitusta maasto- ja lasermetelmän välillä.

Kuvioilla, joilla ei olisi pitänyt ennusteiden mukaan olla hoitotarvetta, hoitotarvetta löydettiin 34,8 prosentilta kohteista. 26,1 prosentilla kuvioista toimenpiteen ajoituk-

seksi esitettiin kiireellistä ja 8,7 prosentilla 1 - 5 vuoden kuluessa tapahtuvaa. Luokkaan ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” ennustetuilla kuvioilla maastomittausten jälkeen ehdotettiin vastaavaa toimenpiteiden ajoitusta 22,6 prosentilla kuvioista. 58,1 prosentilla kohteista ei havaittu taimikonhoitotarvetta seuraavien viiden vuoden kuluessa ja 19,3 prosentille kohteista ehdotettiin kiireellistä taimikonhoitoa.



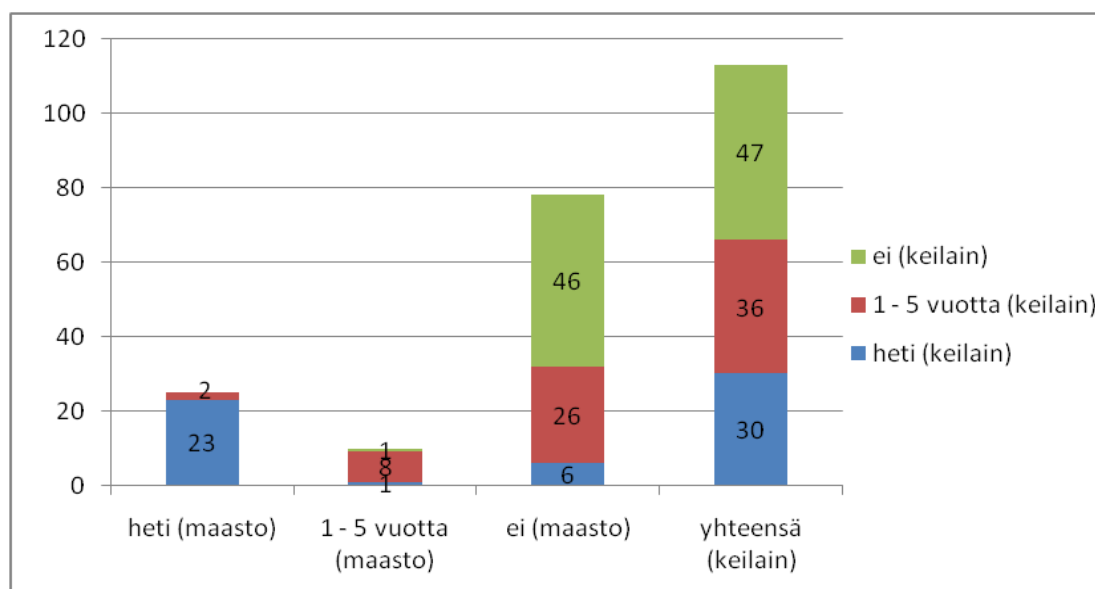
Kuva 13. Toimenpide-ehdotusten vertailu maastomittausten ja lasertulkinnan välillä. Pylväät kuvaavat lasertulkinnalla esitettyjä toimenpide-ehdotuksia, joihin maastotarkastelun jälkeen määritettyjä toimenpide-ehdotuksia prosentuaalisesti verrataan. Maastossa määritetyt toimenpide-ehdotukset kuvataan väreillä.

3.1.3 Turvemaat

Turvemailla laserkeilaimen tulkintatulosten perusteella ehdotettiin kiireellistä hoitotarvetta 30 kohteelle. 36 kuviolla toimenpiteen ajoitukseksi määritettiin 1 - 5 vuotta, eikä 47 kuviolle esitetty hoitotarvetta. Maastotarkastelun jälkeen kiireettömiä kuvioita löydettiin 78 kappaletta, kiireellisiä hoitotoimenpiteitä vaativia kuvioita 25 kappaletta ja kohteita, joilla toimenpiteet tulevat ajankohtaisiksi 1 - 5 vuoden kuluessa, 10 kappaletta. Kuvassa 14 maastomittausten perusteella esitettyjen toimenpide-ehdotusten ja lasertulkinnan avulla tehtyjen toimenpide-ehdotusten jakautuminen kuvataan hoitotarveluokittain.

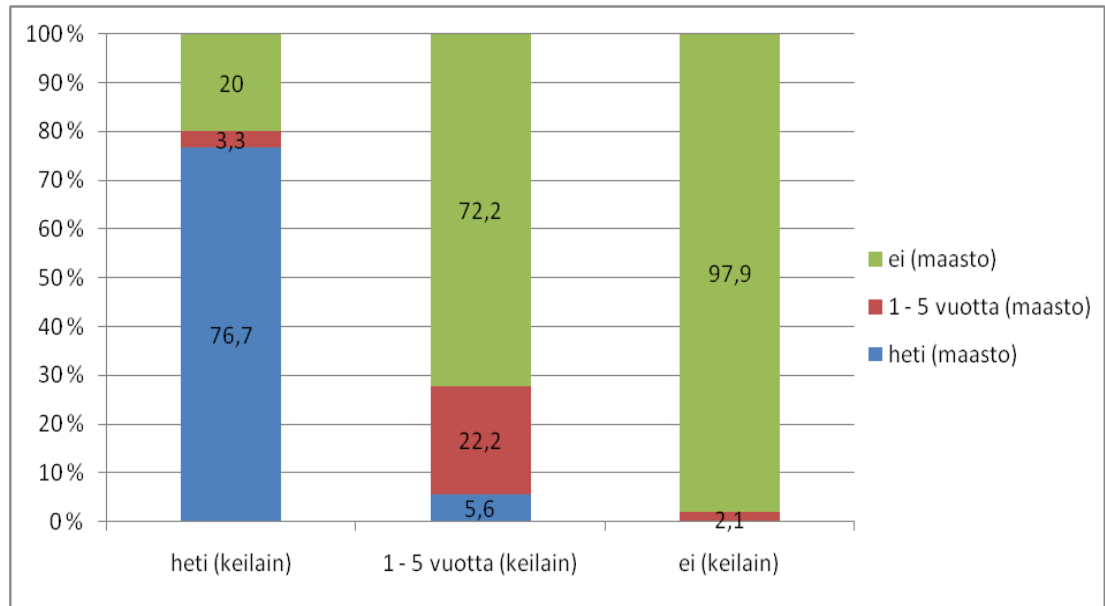
Lasertulkinnalla kiireettömiksi ennustetuista 47 kuvioista yhdellä toimenpiteen ajoitukseksi määritettiin maastoinventoinneilla 1 - 5 vuoden kuluessa tapahtuvaa, mutta lopuille 46 kuviolle ei maastotarkastusten jälkeenkään esitetty toimenpiteitä (kuva 14). Niillä 30 kuviolla, joille laserilla ennustettiin kiireellistä hoitotarvetta, toimenpiteiden ajoitus pidettiin samana maastotarkastelun jälkeen 23 kohteella. Kuudella kuviolla ajoitus muutettiin luokkaan ”ei hoitotarvetta” ja yhdellä kuvioilla luokkaan ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa”.

”Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokkaan ennustetuista 36 kuviosta samaan toimenpide-ehdotukseen päädyttiin maastotarkastusten perusteella kahdeksalla kuviolla. 26 kuviolla ei havaittu hoitotarvetta seuraavien viiden vuoden kuluessa ja kahdelle kuviolle ehdotettiin kiireellistä taimikonhoitoa.



Kuva 14. Toimenpide-ehdotusten tarkastelu. Lasertulkinnan perusteella esitetyt toimenpide-ehdotukset kuvataan väreillä.

Toimenpide-ehdotusten vertailussa maastoinventoinnin ja lasermittauksen välillä yhteneväisimpään tulokseen päästiin ”ei hoitotarvetta” -luokassa, jossa 97,9 prosentilla kuviolla päädyttiin samaan toimenpide-ehdotukseen ja ajoitukseen, kuten kuvassa 15 esitetään. Kiireellistä taimikonhoitoa vaativilla kohteilla tulokset olivat 76,7 prosenttisesti yhtenevät. Kuvioilla, joille lasertulkinnalla ennustettiin toimenpiteitä seuraavien viiden vuoden kuluessa, 72,2 prosentilla ei havaittu maastotarkastusten jälkeen hoitotarvetta.



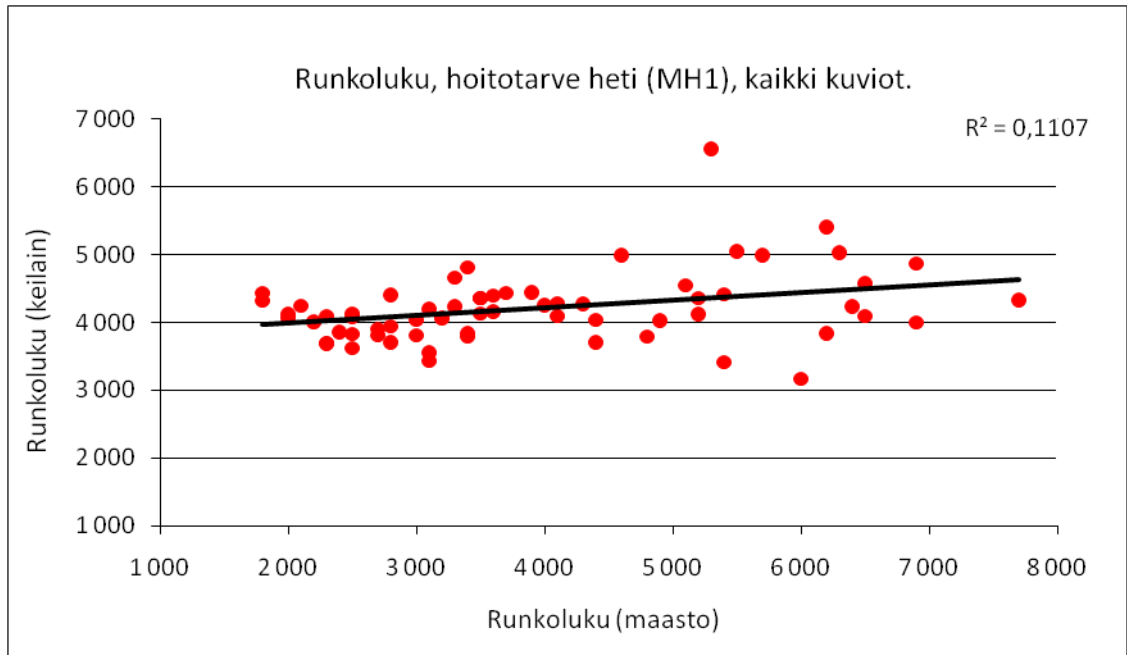
Kuva 15. Toimenpide-ehdotusten tarkastelu turvemilla. Pylväät esittävät lasertulkinnan perusteella esitettyjä toimenpide-ehdotuksia, joihin maastotarkastelun jälkeen määritettyjä toimenpide-ehdotuksia verrataan.

3.2 Runkoluvun ja pituuden tarkastelu, kaikki kuviot

3.2.1 Hoitotarve heti (MH1)

Runkoluku

Laserkeilaimen tulosten perusteella tulkitut runkoluvut vaihtelivat 3 164 - 6 559 runkoa/ha. Maastomittauksilla runkolukujen vaihteluväliksi saatiin 1 800 - 7 700 runkoa hehtaaria kohden. Kvartaaleittain tarkasteltuna maastossa mitattujen runkolukutunnusten yläkvartaali oli 5 150 runkoa/ha, mediaani 3 500 runkoa/ha ja alakvartaali 2 750 runkoa/ha. Lasertulkinnalla runkolukujen yläkvartaali oli 4 379 runkoa/ha, mediaani 4 124 runkoa/ha ja alakvartaali 3 879 runkoa/ha. Runkoluvun korrelaatio menetelmien välillä oli noin 11 prosenttia. 45 kuviolla laserkeilain yliarvioi ja 20 kuviolla aliarvioi runkoluvun, ja täysin sama runkoluku menetelmien välillä mitattiin kahdelta kuviolta. Laserkeilausmenetelmä keskimääräistää tuloksia, minkä seurauksena tulosten vaihteluväli on paljon pienempi kuin maastomittauksilla. Kuvassa 16 esitetään maastossa mitatut ja lasertulkinnalla johdetut runkoluvut kuvioittain.

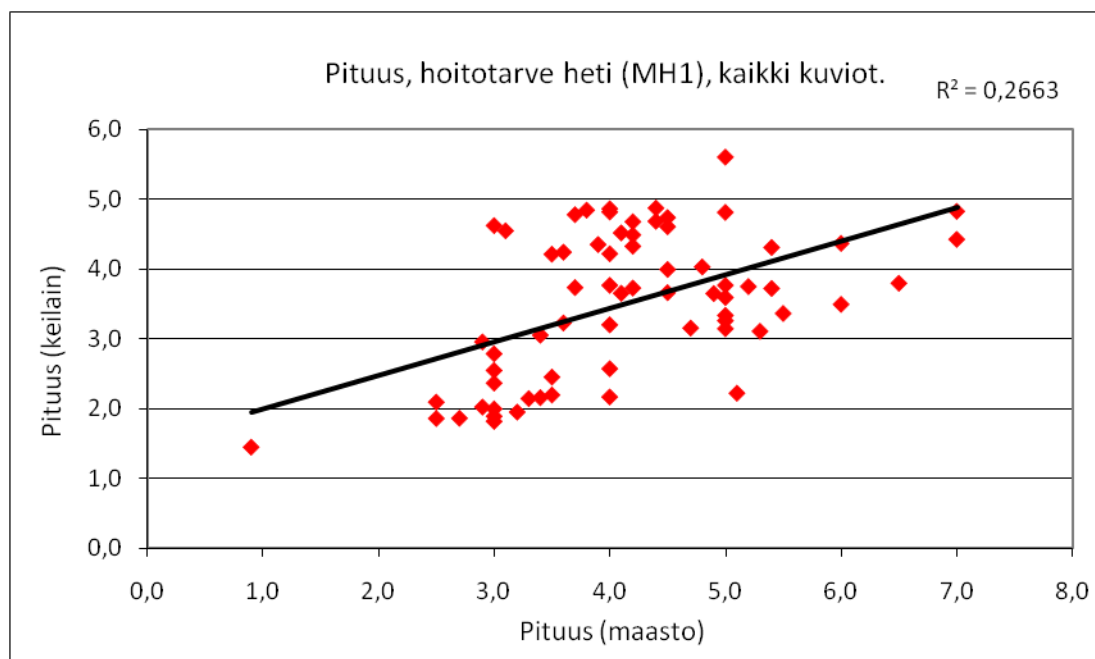


Kuva 16. Runkolukujen vertailu maastomittausten ja lasertulkinnan tulosten välillä kuvioittain

Pituus

Laserkeilaimella ennustettujen pituuksien vaihteluväli oli 1,5 - 5,6 metriä. Maastossa inventoitujen kuvioiden puuston pituudet vaihtelivat 0,9 metristä 7 metriin. Pituuden korrelaatio oli 26 prosenttia. Kvartaaleittain tarkasteltuna maastomittauksilla saatiin yläkvartaaliksi 5,0 metriä, mediaaniksi 4,0 metriä ja alakvartaaliksi 3,4 metriä. Vastaavat laserkeilaimen tuloksista saadut tunnuksot olivat seuraavat: yläkvartaali 4,4 metriä, mediaani 3,7 metriä ja alakvartaali 2,6 metriä.

Täysin tai lähes sama pituusmitta saatiin sekä laser- että maastomittauksilla 21 kuviolta. Näillä kuvioilla pituuksien suhteelliset erot inventointimenetelmien välillä olivat korkeintaan 10 prosenttia suuntaan tai toiseen. Maastomittauksiin verrattuna laserkeilaimen ennustuksilla päädyttiin aliarvioon 45 kuviolla ja yliarvioon 21 kuviolla pituuden korrelaation ollessa 26,6 prosenttia. Kuvassa 17 maastossa mitattuja pituuksia verrataan lasertulkinnalla määritettyihin pituuksiin.



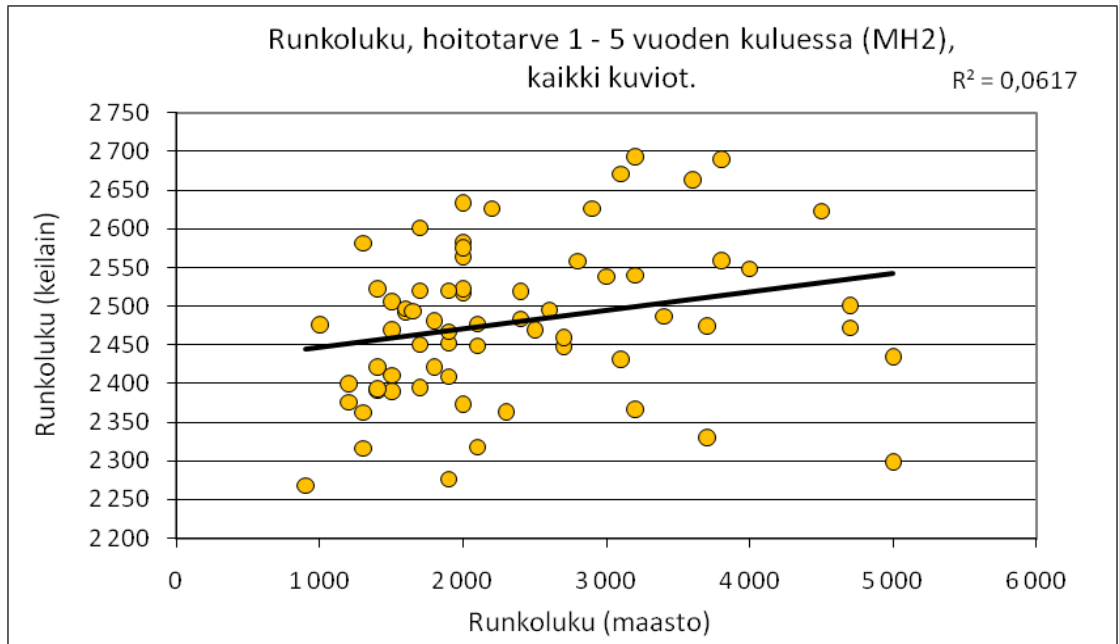
Kuva 17. Puuston pituuden vertailu. Punaiset nelikulmiot kuvaavat maastossa mitattuja pituuksia.

3.2.2 Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)

Runkoluku

Maastomittauksilla saadut hehtaariohittaiset runkoluvut vaihtelivat 900 rungosta 5 000 runkoon. Keilaimen tulosten pohjalta johdetut runkoluvut asettuivat välille 2 268 - 2 693 runkoa/ha. Maastossa mitattujen runkolukujen yläkvartaali oli 3 050 runkoa/ha, mediaani 2 000 runkoa/ha ja alakvartaali 1 625 runkoa/ha. Laserkeilaimen tulosten perusteella yläkvartaaliksi saatiin 2 539 runkoa/ha, mediaaniksi 2 477 runkoa/ha ja alakvartaaliksi 2 410 runkoa/ha. Runkoluvun korrelaatio tässä hoitotarveluokassa oli noin kuusi prosenttia.

Kuvassa 18 vertaillaan runkolukutuloksia eri inventointimenetelmien välillä. Keltaiset ympyrät kuvaavat maastossa mitattuja runkolukuja. Vaaka-akselilla esitetään maastomittausten tulokset ja pystyakselilla lasertulokinnalla määritetyt tulokset.

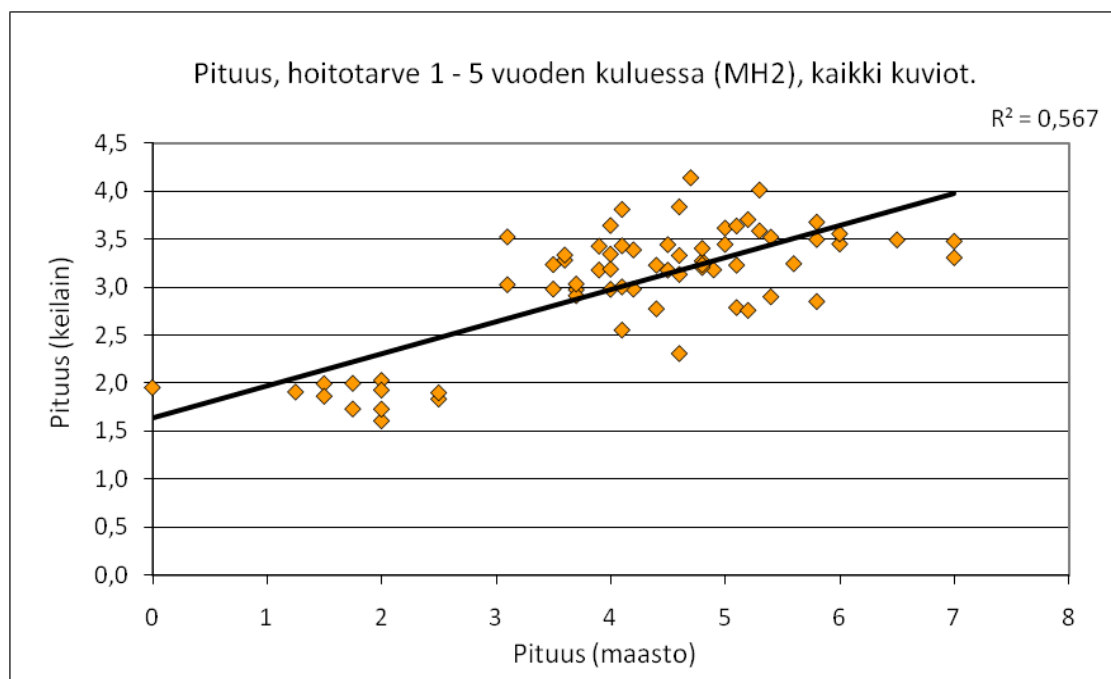


Kuva 18. Runkolukujen vertailu maastomittausten ja lasertulkinnalla johdettujen tulosten välillä

Pituus

Laserkeilaimen ennustamat pituudet olivat 1,6 - 4,1 metriä (kuva 19). Maastossa mitattujen pituuksien vaihteluväli oli 0 - 7 metriä. Pituudet jakautuivat kvartaaleittain seuraavasti maastossa mitattujen tietojen perusteella: yläkvartaali 5,1 metriä, mediaani 4,4 metriä ja alakvartaali 3,6 metriä. Vastaavasti laserkeilauksella saatujen tulosten yläkvartaali oli 3,4 metriä, mediaani 3,2 metriä ja alakvartaali 2,8 metriä. Pituuden korrelaatiokerroin oli 56,7.

Lasertulkinnalla saatiin maastomittauksia suuremmat pituudet kuudelle kuviolle. 60 kuviolla maastoinventoinneilla mitattiin suuremmat pituudet ja yhdellä kuviolla päädyttiin samaan mittaustulokseen molemmilla inventointimenetelmillä.

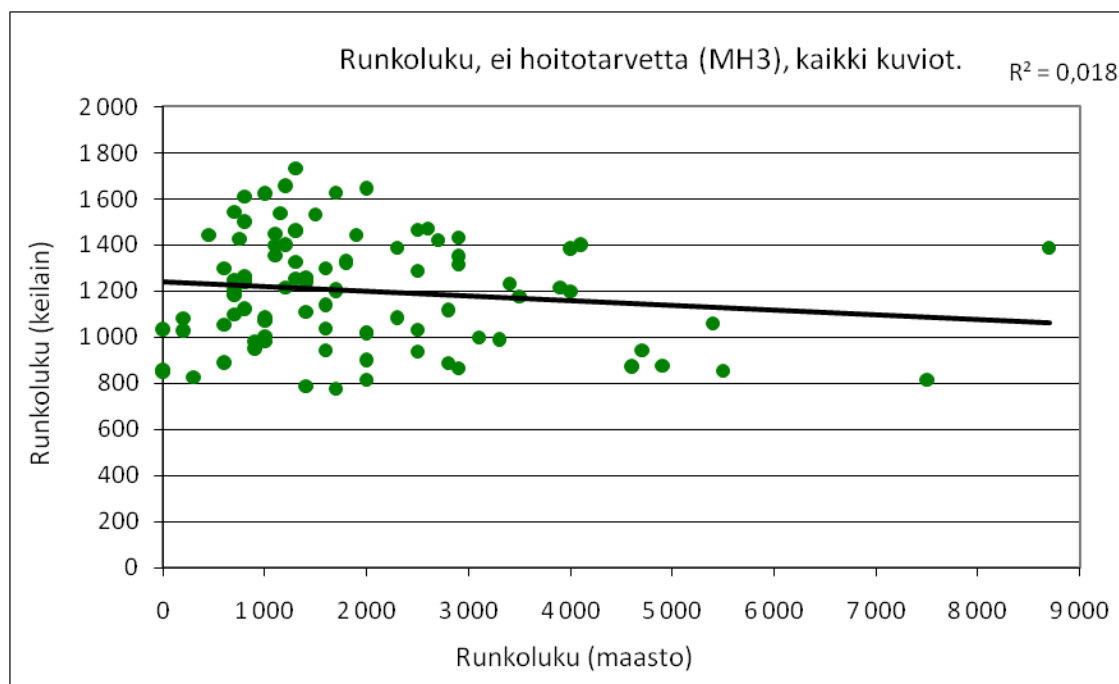


Kuva 19. Puuston piteuden kuvioittainen vertailu maastomittausten ja lasertulkinnan tulosten välillä

3.2.3 Ei hoitotarvetta (MH3)

Runkoluku

Kuvassa 20 vertaillaan maastossa mitattujen runkolukujen kuvioittaisia tuloksia lasertulkinnalla määritettyihin runkolukuihin. Pienimmillään maastomittauksilla mitattiin runkoluvuksi 0 runkoa/ha, suurimmillaan 8 700 runkoa/ha. Keilaimen tulosten perusteella vastaavat ääriarvot olivat 778 runkoa/ha ja 1 734 runkoa/ha. Kvartaaleittain tarkasteltuna maastossa mitattujen runkolukujen yläkvartaali oli 2 500 runkoa/ha, mediaani 1 400 runkoa/ha ja alakvartaali 900 runkoa/ha. Keilaimella ennustettujen runkolukutunnusten kvartaalit olivat 1 389 runkoa/ha (yläkvartaali), 1 211 runkoa/ha (mediaani) ja 1 019 runkoa/ha (alakovartaali). Runkoluvun korrelaatio oli noin kaksi prosenttia.

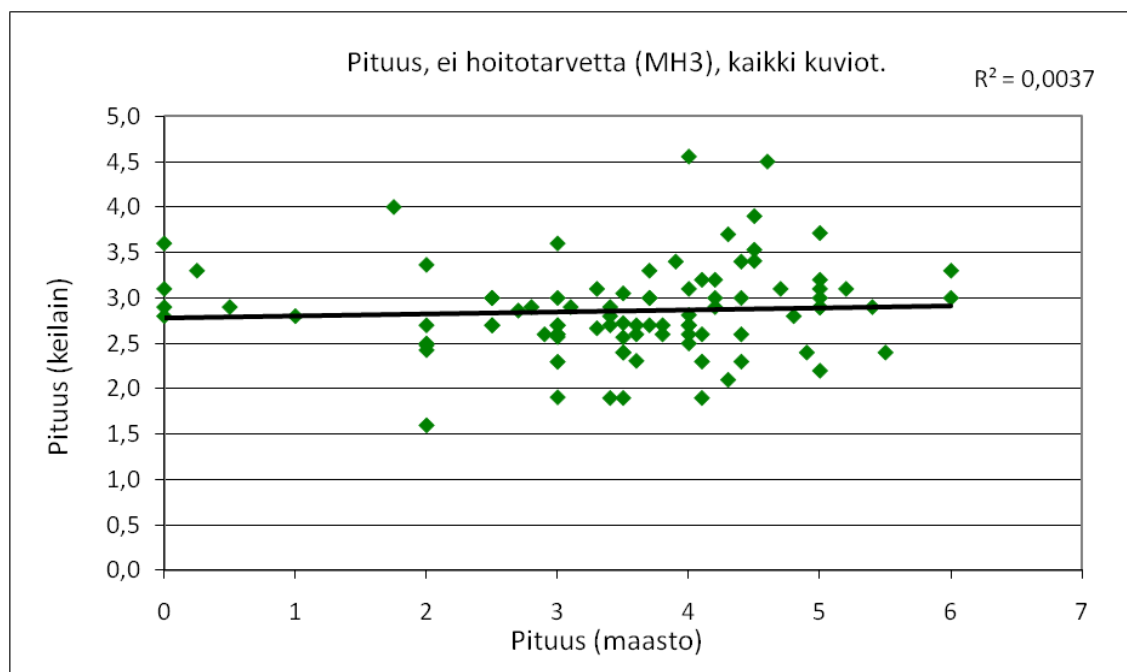


Kuva 20. Runkolukujen vertailu luokassa ”ei hoitotarvetta”. Vihreät ympyrät kuvaavat maastossa mitattuja runkolukuja.

Pituus

Enimmillään puuston pituudeksi mitattiin maastossa tasan kuusi metriä, ja pienimmillään puustoa ei ollut lainkaan, jolloin pituuskin oli nolla (kuva 21). Laserkeilainaineistosta johdettujen pituuksien vaihteluväli oli 1,6 - 4,6 metriä. Kvartaaleittain tarkasteltuna yläkvartaalit vaihtelivat maastossa mitatusta 4,4 metristä keilaimen 3,1 metriin, mediaanit maaston 3,7 metristä keilaimen 2,8 metriin ja alakvartaalit maastoinventointien 3,0 metristä keilaimen 2,6 metriin.

”Ei hoitotarvetta” -luokan kuvioilla maastossa mitattiin laserkeilainennusteita suuremmat pituudet 73 kuviolla ja 20 kuviolla laserinventoinnilla saatiin suurempi pituus-tulos. Neljällä kuviolla ei ollut lainkaan puustoa. Puuttomien kuvioiden laserinventoinneilla saadut keskipituudet olivat 2,8 metriä, 2,9 metriä, 3,1 metriä ja 3,6 metriä.



Kuva 21. Pituuden vertailu maastomittausten ja lasertulkinnan välillä. Vihreät nelikulmiot kuvaavat maastossa mitattuja pituuksia.

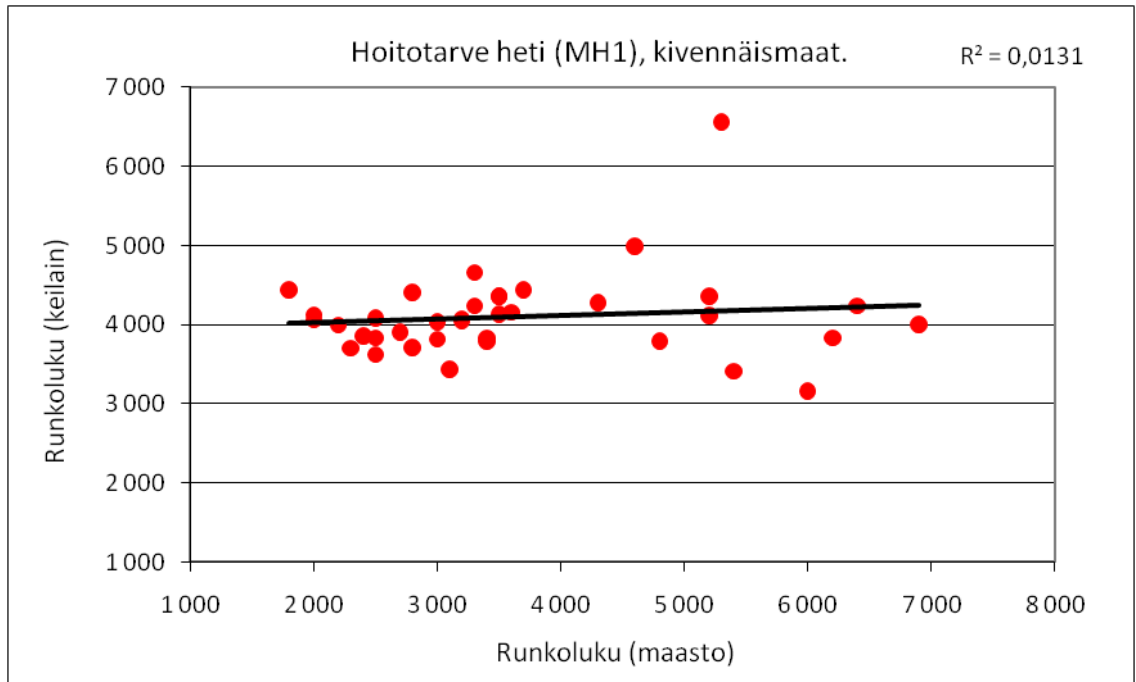
3.3 Runkoluvun ja pituuden tarkastelu, kivennäismaat

3.3.1 Hoitotarve heti (MH1)

Runkoluku

Pienimmillään maastossa mitattu runkoluku oli 1 800 runkoa/ha ja laserilla inventoitu 3 164 runkoa/ha. Suurimmillaan maastossa mitattiin runkoluvuksi 6 900 runkoa/ha ja lasertulkinnalla 6 559 runkoa/ha. Maastoinventointien perusteella runkolukujen alakvartaaliksi saatiin 2 700 runkoa/ha, mediaaniksi 3 300 runkoa/ha ja yläkvartaaliksi 4 600 runkoa/ha. Vastaavat laserkeilaimen alakvartaalin tulokset olivat 3 832 runkoa/ha, mediaanin 4 062 runkoa/ha ja yläkvartaalin 4 274 runkoa/ha. Kivennäismaiden ”hoitotarve heti” -luokassa runkoluvun korrelaatio oli 1,3 prosenttia (kuva 22).

Yhdeksältä kuviolta inventoitiin maastomittauksilla laserkeilaimen tulkintatuloksia suuremmat runkoluvut, vastaavasti lasertulkinnalla suuremmat runkoluvut saatiin 28 kuviolta. Suurimmillaan kuviokohtaiset erot menetelmien välillä runkolukujen tarkastelussa olivat yli kaksinkertaiset.

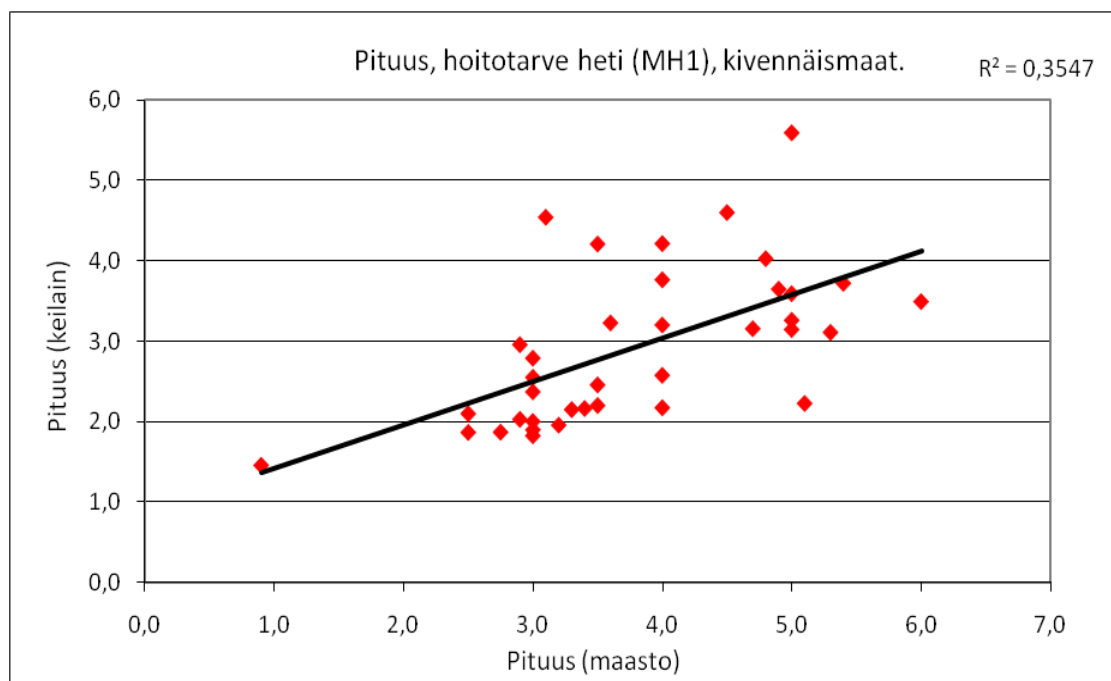


Kuva 22. Runkolukujen tarkastelu maasto- ja lasermenetelmän välillä. ”Hoitotarve heti” -luokan kivennäismaakuviot.

Pituus

Maastossa inventoidut pituudet olivat keskimäärin 34,2 prosenttia suuremmat kuin keilaimen tulosten perusteella johdetut pituudet. Maastossa mitatut pituudet vaihtelivat 0,9 - 6 metriä ja keilaimella ennustetut 1,5 - 5,6 metriä (kuva 23). Kvartaaleittain tarkasteltuna maastossa mitatut tulokset olivat seuraavat: alakvartaali 3,0 metriä, mediaani 3,5 metriä ja yläkvartaali 4,8 metriä. Laserkeilauksen tulosten pohjalta pituuden alakvartaali oli 2,2 metriä, mediaani 2,8 metriä ja yläkvartaali 3,6 metriä.

”Hoitotarve heti” -luokan kivennäismaakuviolla maastossa mitattiin laserkeilainta suuremmat pituudet 30 kuviolla. Seitsemällä kuviolla laserkeilaimella saatiin suuremmat pituudet. Pituuden korrelaatio oli noin 35 prosenttia.



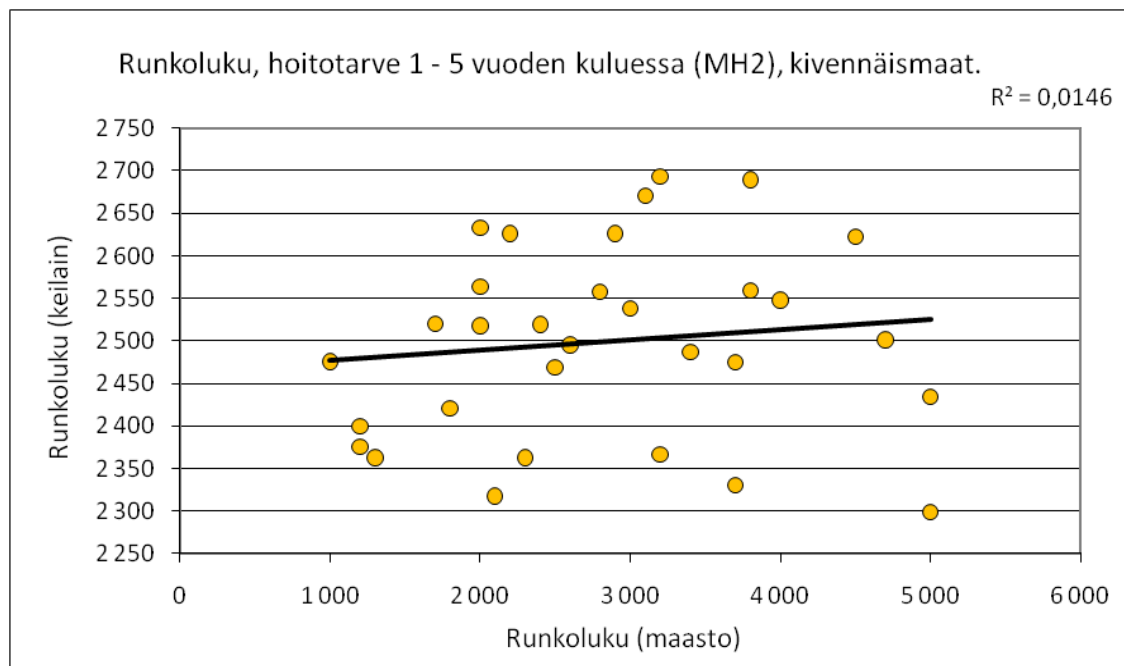
Kuva 23. Pituuden kuvioittainen vertailu maastomittausten ja lasertulkinnan välillä. Vaaka-akselilla kuvataan maastomittausten pituusasteikko ja pystyakselilla lasertulkinnalla määritettyjen pituuksien asteikko. Punaiset nelikulmiot esittävät maastossa mitattuja pituuksia.

3.3.2 Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)

Runkoluku

Maastossa mitatut hehtaarikohtaiset runkoluvut vaihtelivat 1 000 ja 5 000 rungon välillä (kuva 24). Laserkeilauksella runkoluvuiksi saatiin 2 299 - 2 693 runkoa/ha. Maastossa mitattujen runkolukujen yläkvartaali oli 3 700 runkoa/ha, mediaani 2 800 runkoa/ha ja alakvartaali 2 000 runkoa/ha. Laserinventoinneilla yläkvartaaliksi saatiin 2 561 runkoa/ha, mediaaniksi 2 501 runkoa/ha ja alakvartaaliksi 2 411 runkoa/ha.

Maastoinventoinneilla mitattiin laserkeilausta suuremmat runkoluvut 18 kuviolla ja pienemmät 13 kuviolla. Suurimmat yli- ja aliarviot menetelmien välillä olivat yli kaksinkertaisia. Runkoluvun korrelaatio oli noin 1,5 prosenttia.

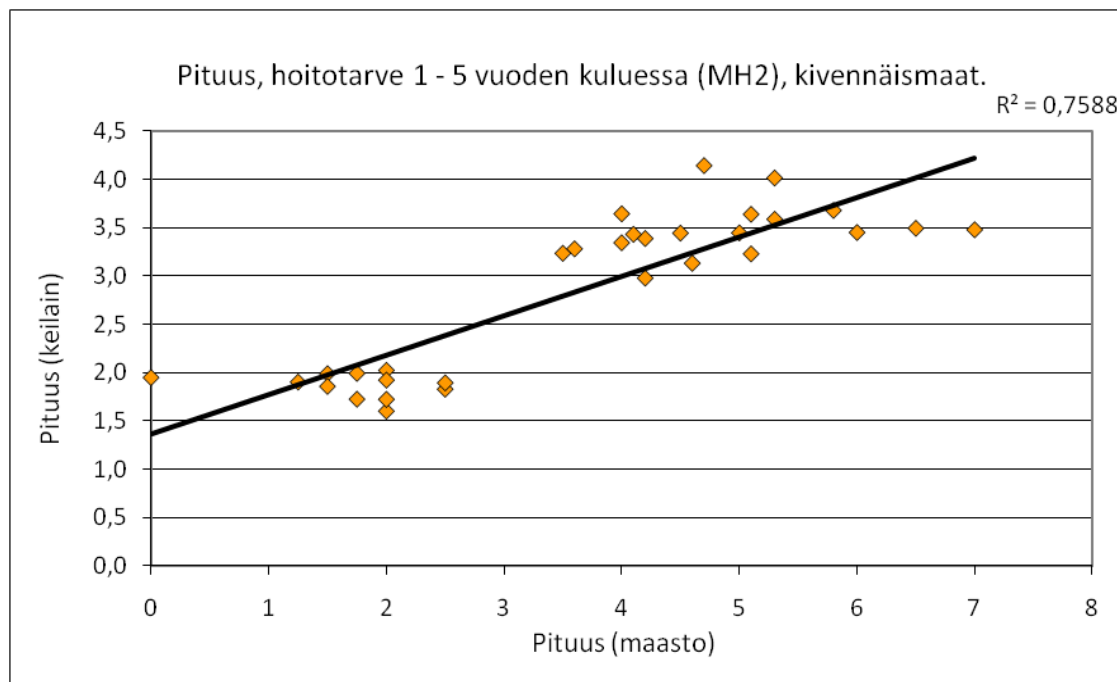


Kuva 24. Kivennäismaiden ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan runkolukuvertailu. Maastossa mitatut runkoluvut esitetään keltaisilla ympyröillä. Vastaavien kuvioiden lasertulkinnalla määritetyt runkoluvut saadaan pysty akselin mitta-asteikolta.

Pituus

Kuvassa 25 esitetään maastomittauksilla saatujen ja lasertulkinnalla määritettyjen pituuksien kuvioittaiset tulokset. Laserkeilaimella johdettujen pituuksien vaihteluväli oli kuvioittain 1,6 - 4,1 metriä. Maastossa mitatut ääriarvot vaihtelivat 0 - 7 metriä. Kvartaaleittain tarkasteltuna maastossa mitattu yläkvartaali oli 5,1 metriä, mediaani 4,0 metriä ja alakvartaali 2,0 metriä. Laserkeilaimen ennustamien pituuksien yläkvartaali oli 3,5 metriä, mediaani 3,2 metriä ja alakvartaali 1,9 metriä.

Maastoinventoinneilla mitattiin laserinventointeja suuremmat pituudet 25 kuviolta. Viidelle kuviolle ennustettiin laserilla suuremmat pituudet ja yhdellä kuviolla saatiin molemmilla menetelmillä sama pituus. Suurimmillaan pituustulosten kuvioittaiset erot menetelmien välillä olivat kaksinkertaiset. Pituuden korrelaatio ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan kivennäismailla oli 76 prosenttia.



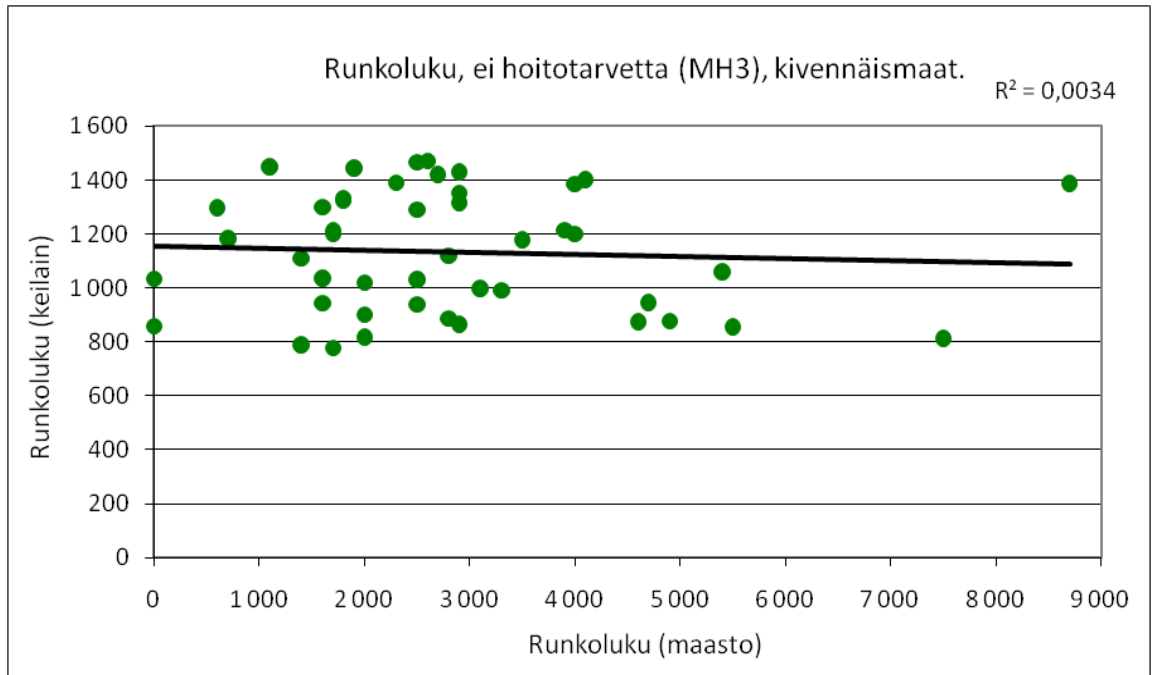
Kuva 25. Pituuksien tarkastelu kivennäismaiden ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan kuvioilla. Maastossa mitatut pituudet kuvataan keltaisilla nelikulmioilla.

3.3.3 Ei hoitotarvetta (MH3)

Runkoluku

Runkoluvun vaihteluväli oli maastomittausten perusteella 0 - 8 700 runkoa/ha. Keilaimen tulosten tulkinnalla runkoluvun vaihteluksi saatiin 778 - 1 471 runkoa/ha (kuva 26). Maastossa mitattujen runkolukujen yläkvartaali oli 3 450 runkoa/ha, ja vastaava tulos lasermittauksilla oli 1 331 runkoa/ha. Mediaaniksi saatiin maastossa 2 500 runkoa/ha ja laserkeilaimella 1 148 runkoa/ha. Alakvartaali oli maastoinventointien perusteella 1 700 runkoa/ha ja laserinventointien perusteella 939 runkoa/ha.

”Ei hoitotarvetta” -luokan kivennäismaakuvioilla maastossa mitatut runkoluvut olivat laserkeilaimen tulosten pohjalta tulkittuja runkolukuja suuremmat 41 kuviolla. Viidellä kuviolla laserkeilaimella saatiin suurempi runkoluku. Kahdella kuviolla puustoa ei ollut lainkaan, ja näillä kuvioilla lasertulosten pohjalta johdetut runkoluvut olivat 859 runkoa/ha ja 1 034 runkoa/ha. Runkoluvun korrelaatio oli 0,3 prosenttia.

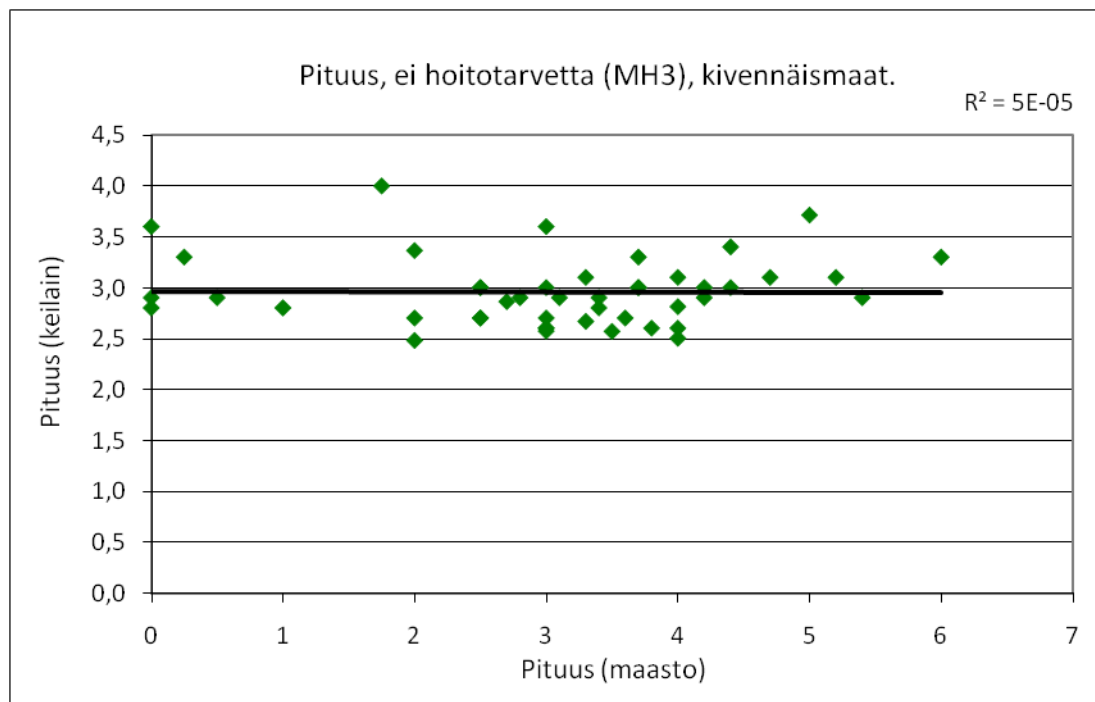


Kuva 26. Maastossa mitattujen ja laserkeilaimen tuottaman aineiston tulkinnalla saatujen runkolukujen vertailu kivennäismaiden ”ei hoitotarvetta” -luokan kuvioilla

Pituus

”Ei hoitotarvetta” -luokan kivennäismaakuvioilla maastoinventoinneilla mitatut pituudet olivat 0 - 6 metriä ja laserkeilaimella johdetut pituudet 2,5 - 4 metriä (kuva 27). Puuston mediaanipituus oli maastotarkastelun perusteella 3,2 metriä, yläkvartaali 4,0 metriä ja alakvartaali 2,5 metriä. Laserkeilaimella ennustettujen tunnusten vastaavat mediaanin arvot olivat 2,9 metriä ja yläkvartaalin 3,1 metriä ja alakvartaalin 2,7 metriä.

Kivennäismaiden kuvioilla, joille ei ennustettu hoitotarvetta seuraavien viiden vuoden kuluessa, maastossa inventoidut pituudet olivat laserinventoinnin tuloksia suuremmat 28 kuviolla. 18 kuviolla laserilla saatiin suurempi runkoluku. Kolmella kuviolla puustoa ei ollut lainkaan. Näiden kuvioiden lasertulkinnalla johdetut keskipituudet olivat 2,8 metriä, 2,9 metriä ja 3,6 metriä.



Kuva 27. Pituuden kuvioittainen vertailu maasto- ja lasermenetelmän välillä. Vihreät nelikulmiot kuvaavat maastossa mitattuja pituuksia.

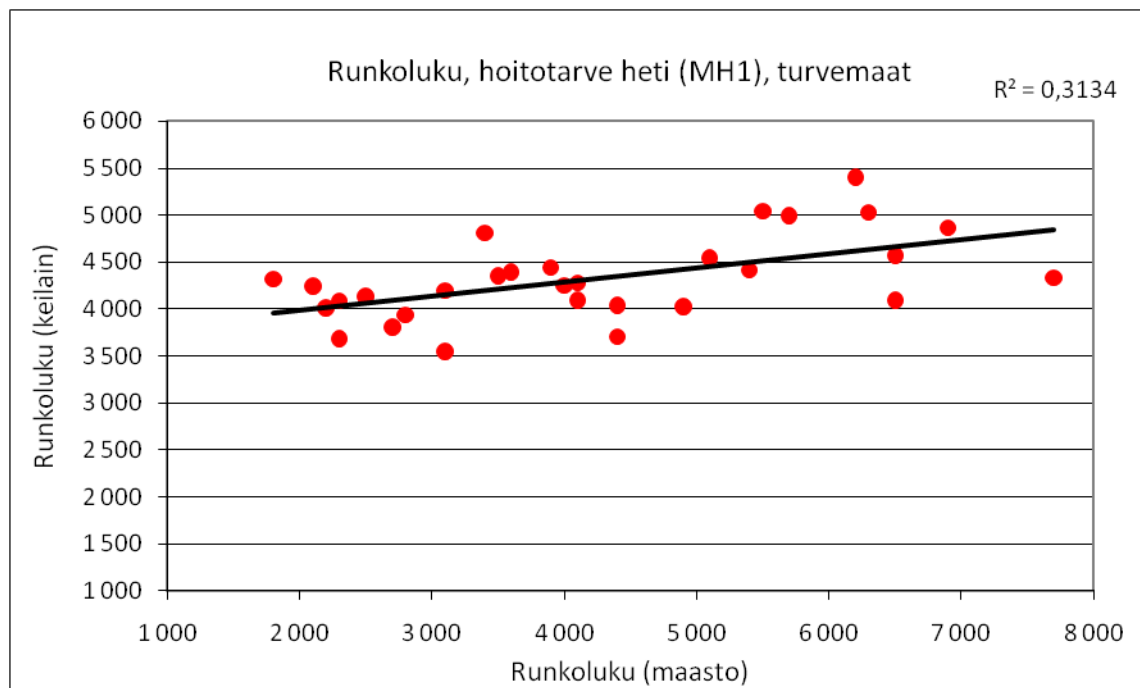
3.4 Runkoluvun ja pituuden tarkastelu, turvemaat

3.4.1 Hoitotarve heti (MH1)

Runkoluku

Maastossa mitatut runkoluvut olivat pienimmillään 1 800 runkoa/ha ja suurimmillaan 7 700 runkoa/ha, kuten kuvassa 28 esitetään. Laserkeilauksen vastaavat arvot olivat 3 552 runkoa/ha ja 5 407 runkoa/ha. Kun runkoluku jaettiin ylä- ja alakvartaaliin sekä mediaaniin, saatiin runkolukutunnuksiksi maastossa mitattujen tulosten perusteella 5 475 runkoa/ha (yläkvartaali), 4 050 runkoa/ha (mediaani) ja 2 875 runkoa/ha (alakovartaali). Laserkeilaimen tulosten tulkinnalla yläkvartaaliksi saatiin 4 519 runkoa/ha, mediaaniksi 4 265 runkoa/ha ja alakvartaaliksi 4 052 runkoa/ha.

Kiireellisen hoitotarpeen turvemaakuvioilla maastossa mitatut runkoluvut olivat 14 kuviolla suuremmat kuin lasertuloksista johdetut runkoluvut. 16 kuviolla maastoinventoinneilla mitatut runkoluvut olivat pienemmät. Runkoluvun korrelaatio oli noin 31 prosenttia.

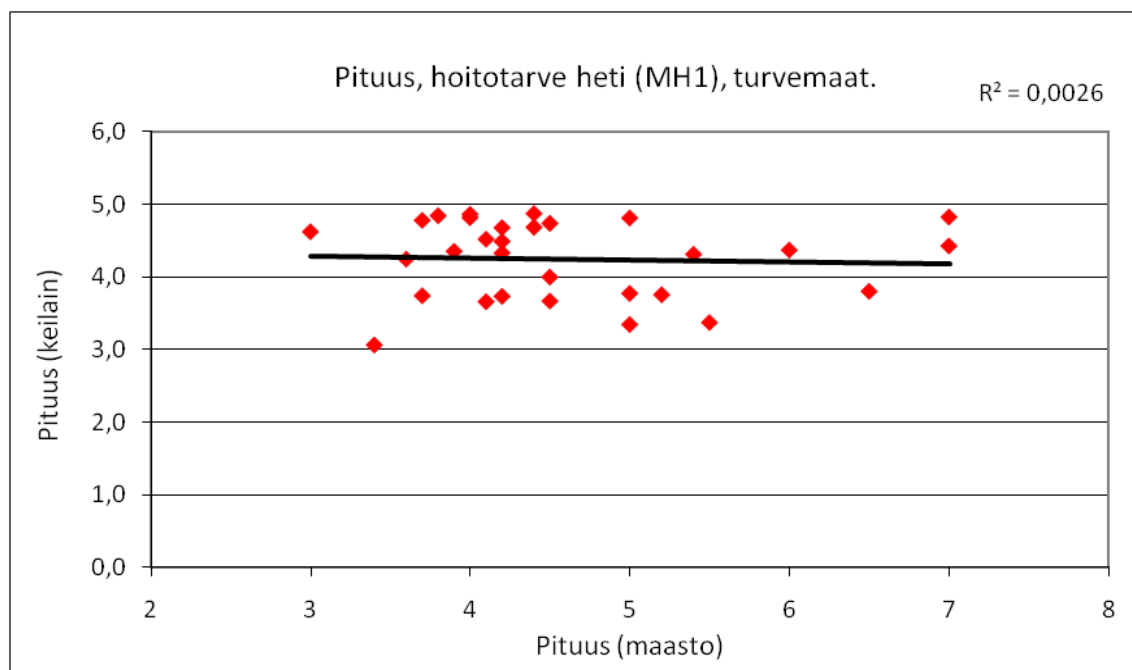


Kuva 28. Runkolukujen vertailu menetelmien välillä turvemaiden ”hoitotarve heti” -luokan kuvioilla.

Pituus

Pituuden vaihtelu oli maastomittauksissa 3 - 7 metriä ja lasertulkinnalla 3,1 - 4,9 metriä (kuva 29). Korrelaatiota menetelmien välillä havaittiin 0,3 prosenttia. Kun maastoinventoinneilla mitatut pituustiedot jaettiin kvartaaleihin, saatiin seuraavanlaiset tulokset: yläkvartaali 5,0 metriä, mediaani 4,3 metriä ja alakvartaali 4,0 metriä. Laserkeilausmenetelmällä vastaavat tulokset olivat 4,7 metriä (yläkvartaali), 4,4 metriä (mediaani) ja 3,8 metriä (alakvartaali).

Laserkeilaimen ennustamat pituudet olivat 14 kuviolla maastossa mitattuja pituuksia suuremmat ja 15 kuviolla pienemmät. Yhdellä kuviolla saatiin sama pituus molemmilla inventointimenetelmillä. Suurimmillaan pituuksien kuvioittaiset erot menetelmien välillä olivat lähes kaksinkertaiset.



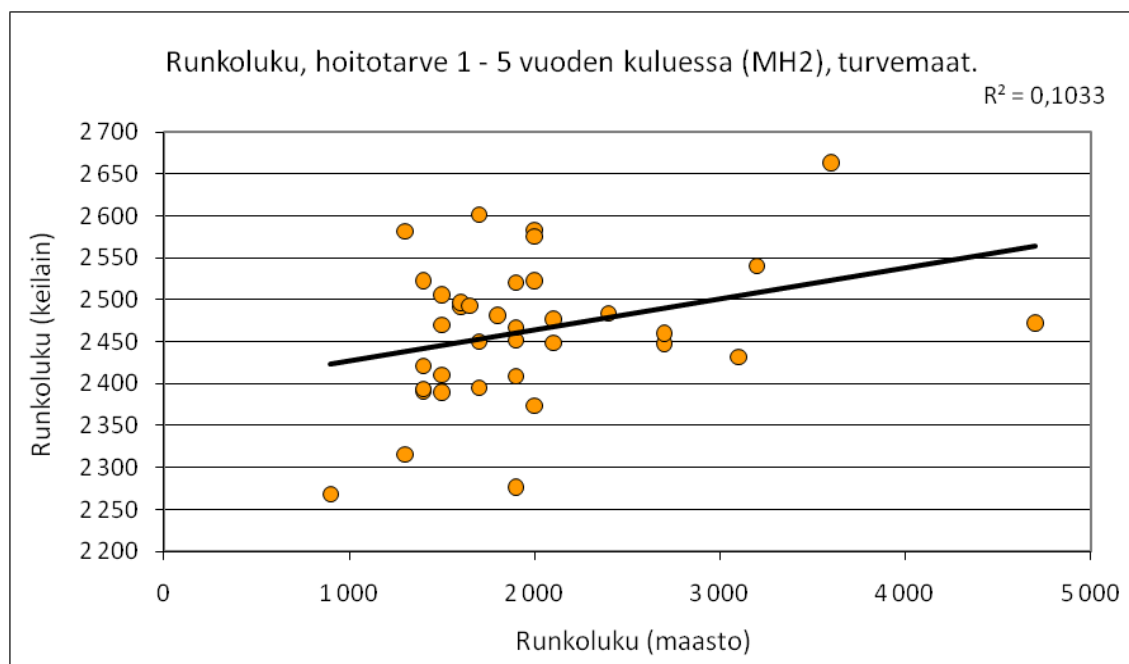
Kuva 29. Pituuden vertailu inventointimenetelmien välillä. Punaiset nelikulmiot esittävät maastossa mitattuja pituuksia.

3.4.2 Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)

Runkoluku

Maastossa mitattiin suurimmillaan lähes 5 000 rungon hehtaarikohtaisia tiheyksiä. Kuvassa 30 esitetään runkolukujen kuvioittaiset tulokset. Suurin keilaimen ennustama runkoluku oli 2 663 runkoa/ha. Pienimmillään maastomittauksilla saatiin runkoluvuksi 900 runkoa/ha ja lasermittauksilla 2 268 runkoa/ha. Kvartaaleittain tarkasteltuna maastoinventointien alakvartaali oli 1 500 runkoa/ha, kun se laserinventointien perusteella oli 2 410 runkoa/ha. Mediaani maastossa oli 1 850 runkoa/ha ja laserinventoinneilla 2 468 runkoa/ha. Yläkvartaaliksi saatiin maastoinventoinneilla 2 025 runkoa/ha ja laserkeilausmenetelmällä 2 510 runkoa/ha.

”Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan turvemailla lasertulkinnalla saatiin maastomittauksia suuremmat runkoluvut 30 kuviolta ja pienemmät kuudelta kuviolta. Suurimmillaan keilaimen yliarvio on yli kaksinkertainen. Tällä kuviolla mitattiin maastossa 900 runkoa hehtaarille, ja lasertulkinnalla hehtaarikohtaiseksi runkoluvuksi saatiin 2 268 runkoa. Toisessa ääripäässä maastomittauksilla runkoluvuksi saatiin 4 700 runkoa/ha ja laserkeilauksella 2 472 runkoa/ha.



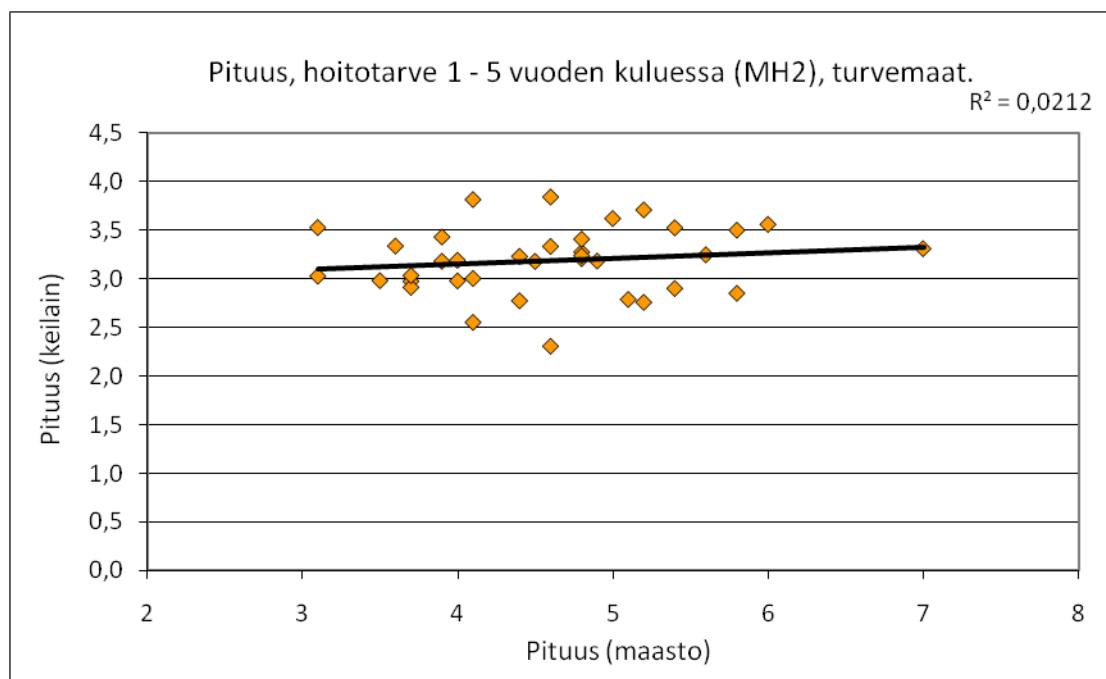
Kuva 30. Runkolukuvertailu turvemaiden ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokassa. Maastossa mitatut runkoluvut esitetään keltaisin ympyröin. Vastaavien kuvioiden lasertulkinnalla määritetyt runkoluvut ovat luettavissa pystyakselilta.

Pituus

Laserin ennustamat pituudet vaihtelivat 2,3 - 3,8 metriä. Maastoinventoinneilla kuviokohtaiseksi pituudeksi mitattiin pienimmillään 3,1 metriä ja suurimmillaan 7,0 metriä. Pituuksien yläkvartaalit olivat maastomittausten perusteella 5,1 metriä ja laserkeilaimen tulosten perusteella 3,4 metriä sekä mediaanit 4,6 metriä (maasto) ja 3,2 metriä (keilain). Puustoltaan lyhimmän neljänneksen yläraja oli maastomittausten perusteella 4,0 metriä ja lasertulkinnan perusteella 3,0 metriä.

Pituuden tarkastelussa maastomittauksilla mitattiin laserinventointeja suuremmat pituudet 35 kuviolta. Yhdellä kuviolla maastoinventoinneilla saatiin pienempi pituus. Tällä kuviolla laserkeilaimen ennustama pituus oli 3,5 metriä ja maastomittauksilla 3,1 metriä. Kolmella kuviolla maastossa mitatut pituudet olivat vähintään kaksinkertaiset lasertuloksiin verrattuna.

Kuvassa 31 esitetään maastossa mitatut ja lasertulkinnalla määritetyt pituudet kuvioittain. Keltaiset nelikulmiot kuvaavat maastomittausten tuloksia. Vastaavien kuvioiden lasertulkinnalla saadut pituudet ovat luettavissa pystyakselin mitta-asteikolta.



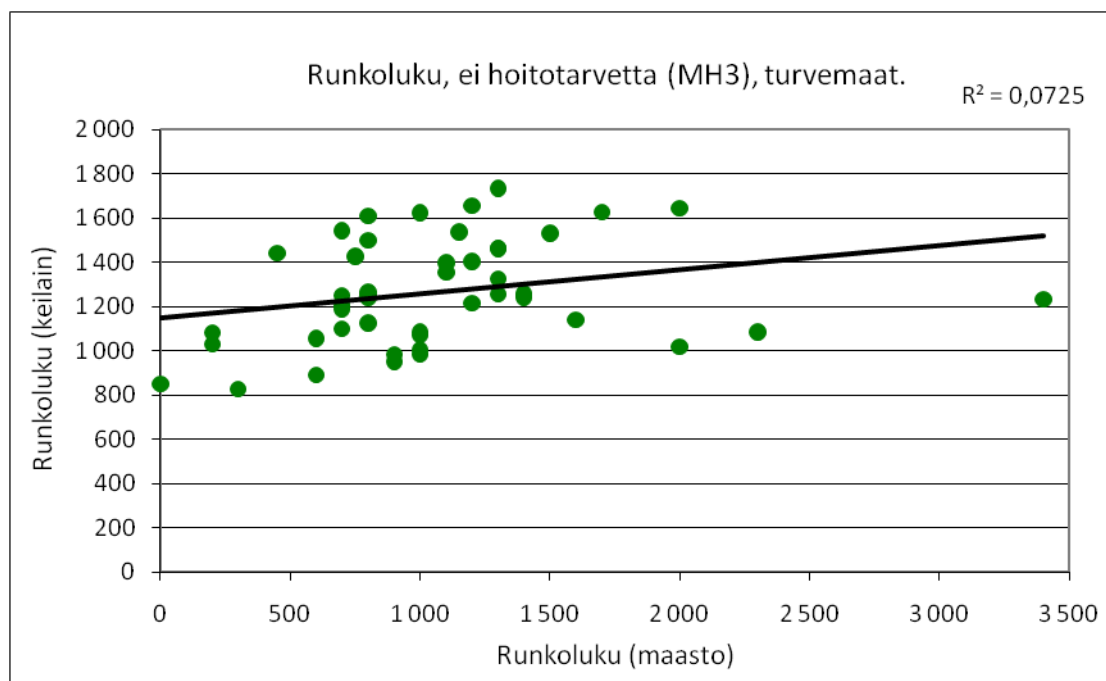
Kuva 31. Pituuden vertailu maastomittausten ja lasertulkinnalla määritettyjen tulosten välillä

3.4.3 Ei hoitotarvetta (MH3)

Runkoluku

Runkoluvut vaihtelivat mittaamenetelmittäin siten, että maastossa mitatut runkoluvut asettuivat välille 0 - 3 400 runkoa/ha ja laserilla ennustetut välille 826 - 1 734 runkoa/ha (kuva 32). Kvartaaleittain tarkasteltuna maastossa mitatut hehtaarikohtaiset tulokset vaihtelivat alakvartaalin 725 rungosta yläkvartaalin 1 300 runkoon mediaanin ollessa 1 000 runkoa. Lasertulkinnalla yläkvartaaliksi saatiin 1 452 runkoa/ha, mediaaniksi 1 249 runkoa/ha ja alakvartaaliksi 1 084 runkoa/ha. Runkoluvun korrelaatio oli noin 7,3 prosenttia.

Turvemaiden kiireettömiksi ennustetuilla kohteilla lasertulkinnalla saatiin runkoluvussa yliarviota maastomittauksiin verrattuna 36 kuviolla. 11 kuviolla maastossa mitattiin suurempia runkolukuja. Yhdellä kuviolla ei havaittu puustoa, ja tällä kuviolla laserkeilaimen tulosten tulkinnalla saatu runkoluku oli 850 runkoa/ha. Suurimmat yli- ja aliarviot olivat yli kaksinkertaiset.

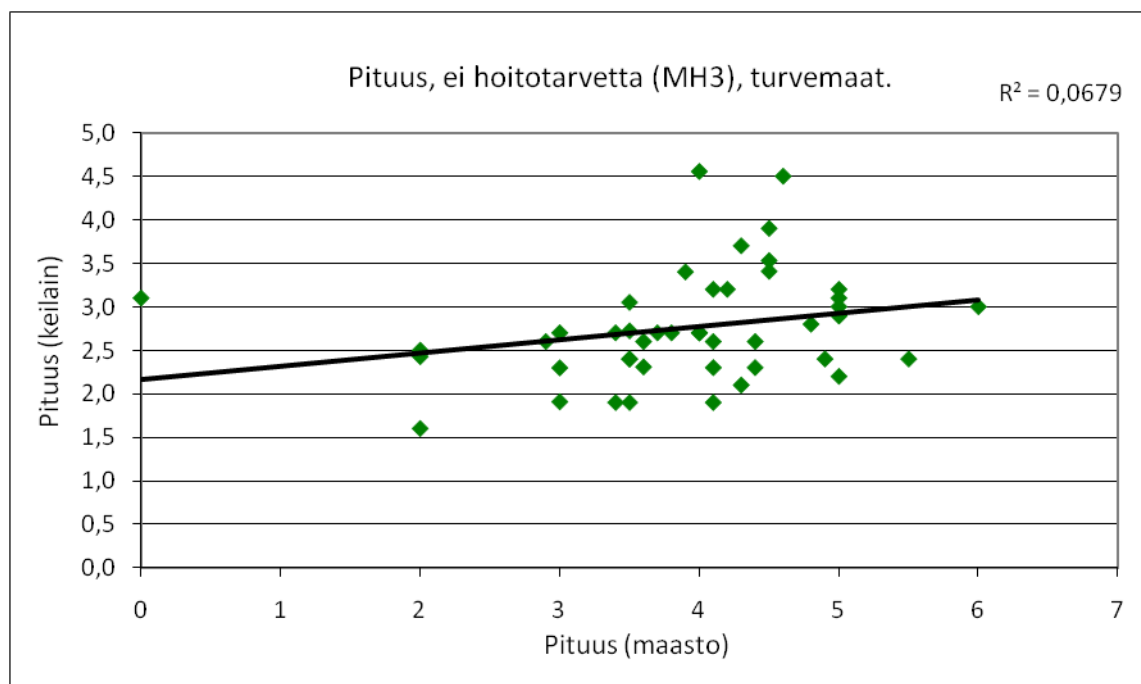


Kuva 32. Maastossa mitatut runkoluvut verrattuna lasertulkinnan perusteella johdettuihin runkolukuihin. Vihreät ympyrät esittävät maastossa mitattuja tuloksia.

Pituus

Laserilla ennustetut pituudet vaihtelivat 1,6 - 4,6 metriä, kuten kuvassa 33 esitetään. Maastossa mitattiin pituudeksi pienimmillään 0 metriä ja suurimmillaan 6,0 metriä mediaanin ollessa 4,1 metriä. Laserkeilaimen tulosten kvartaalit olivat seuraavat: yläkvartaali 3,1 metriä, mediaani 2,7 metriä ja alakvartaali 2,4 metriä. Maastomittauksilla saatujen pituuksien yläkvartaali oli 4,6 metriä ja alakvartaali 3,5 metriä.

”Ei hoitotarvetta” -luokan turvemaakuvioilla maastossa mitatut pituudet olivat lasertuloksia suuremmat 43 kuviolla ja pienemmät neljällä kuviolla. Suurimmillaan erot runkolukumittauksissa olivat yli kaksinkertaiset; tällaisia kuvioita oli yhteensä kuusi kappaletta. Pituuden korrelaatio oli noin 6,8 prosenttia.



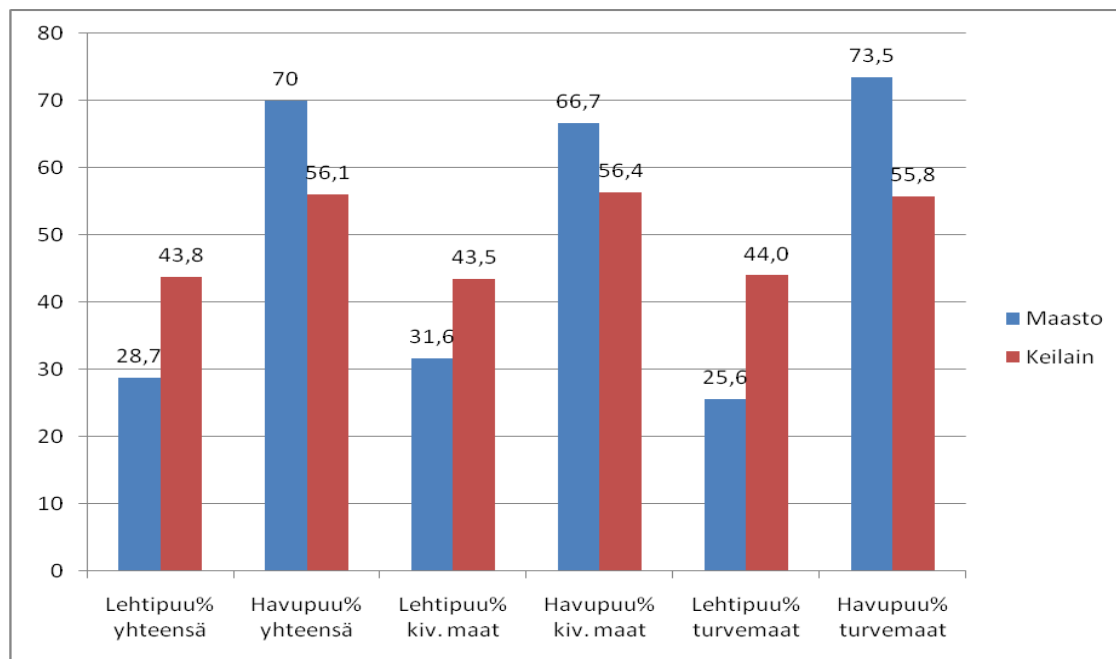
Kuva 33. Pituuden vertailu maasto- ja lasermenetelmän välillä turvemaiden ”ei hoitotarvetta”-luokan kuvioilla

3.5 Havu- ja lehtipuuprosentit ja niiden vertailu menetelmien välillä

Kivennäismaakuvioilla lehtipuustoa mitattiin maastoinventoinneilla keskimäärin 11,9 prosenttiyksikköä vähemmän kuin tulkintaprosessilla ennustettiin. Turvemailla tulkintaprosessilla saatiin vielä suurempi yliarvio, 18,4 prosenttiyksikköä (kuva 34). Hoitoluokittain ja maalajeittain tarkasteltuna lehtipuustossa saatiin lasertulkinnan perusteella yliarviot kaikista muista luokista, paitsi kiireellisen hoitotarpeen turvemaakuvioilta, joilla maastotarkastelun jälkeen todettiin olevan noin kolme prosenttiyksikköä enemmän lehtipuustoa kuin tulkinta osoittaa.

Havupuuston tulkinta antoi aliarvion sekä kivennäis- että turvemailla jokaisessa hoitotarveluokassa maastotarkasteluun verrattuna. Kivennäismaakuvioilla maastossa mitattujen suhteellisten puulajisuhteiden summaksi ei saatu sataa prosenttia, koska kahdella kuvioilla ei ollut lainkaan puustoa. Turvemaakohteilla puuttomia kuvioita oli yksi kappaletta.

Keskimäärin maastossa mitattiin lehtipuuta 15,1 prosenttiyksikköä vähemmän ilmakuvien avulla tapahtuneeseen puulajisuhteiden tulkintaan verrattuna. Havupuuta maastomittauksilla inventoitiin 13,9 prosenttiyksikköä enemmän.



Kuva 34. Havu- ja lehtipuuosuuksien vertailu inventointimenetelmien välillä. Aluepohjaisissa laserkeilausmenetelmissä puulajien tunnistamisen apuna käytetään ilmakuvia.

3.6 RMSE-analyysit

Pituus

Tulosten analysoinnissa käytettiin apuna RMSE-analyysiä. Analyysi mittaa mallin keskivirhettä. Keskivirheestä laskettiin sekä absoluuttiset että suhteelliset virheet pituudelle ja runkoluvulle hoitoluokittain. ”Hoitotarve heti” -luokan kuvioilla pituuden absoluuttinen keskivirhe vaihteli kivennäismaiden 1,25 metristä turvemaiden 1,19 metriin. Suhteellisesti tarkasteltuna keskivirhe oli 29,5 prosenttia (taulukko 2). Turvemaiden pituuden suhteellinen keskivirhe oli 25,9 prosenttia ja kivennäismailla 33,0 prosenttia.

”Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan kuvioilla pituuden absoluuttinen keskivirhe oli kivennäismailla 1,36 metriä ja turvemaiden 1,65 metriä. Keskimäärin kuvioiden absoluuttinen keskivirhe oli 1,53 metriä, kun tarkastelussa olivat sekä kivennäismaa-

että turvemaakuviot. Suhteellinen keskivirhe oli turvemailla 36,0 prosenttia ja kivennäismailla 37,4 prosenttia.

”Ei hoitotarvetta” -luokassa pituuden absoluuttinen keskivirhe oli 1,52 metriä ja suhteellinen keskivirhe 43,3 prosenttia. Suhteellinen keskivirhe oli kivennäismailla 47,3 prosenttia ja turvemailla 40,2 prosenttia, absoluuttiset keskivirheet olivat kivennäismailla 1,45 metriä ja turvemailla 1,58 metriä.

Taulukko 2. Pituuksien absoluuttiset ja suhteelliset keskivirheet hoitotoimenpideluokittain. Kiireellinen hoitotarve esitetään lyhenteellä MH1, hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa lyhenteellä MH2 ja ei hoitotarvetta lyhenteellä MH3.

MH1	RMSE	RMSE-%
Kaikki kuviot	1,23	29,5
Kivennäismaat	1,25	33,0
Turvemaat	1,19	25,9
MH2		
Kaikki kuviot	1,53	36,7
Kivennäismaat	1,36	37,4
Turvemaat	1,65	36,0
MH3		
Kaikki kuviot	1,52	43,3
Kivennäismaat	1,45	47,3
Turvemaat	1,58	40,2

Runkoluku

Tarkasteltaessa runkolukuja absoluuttiset hehtaariohaiset keskivirheet vaihtelivat ”ei hoitotarvetta” -luokan turvemaakuvioiden 592 rungosta saman hoitotarveluokan kivennäismaakuvioiden 2 401 runkoon (taulukko 3). ”Hoitotarve heti” -luokan kivennäismaakuvioiden runkoluvun keskivirhe oli 1451 runkoa/ha ja turvemaakuvioiden 1 417 runkoa/ha. Turvemailla absoluuttinen keskivirhe oli 33,5 prosenttia ja kivennäismailla 39,6 prosenttia.

”Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokan kuvioilla kivennäismaiden suhteellinen keskivirhe oli 40,6 prosenttia ja turvemaiden 43,6 prosenttia. Absoluuttinen keskivirhe kivennäismailla oli 1 154 runkoa/ha ja turvemailla 860 runkoa/ha.

”Ei hoitotarvetta” -luokassa suhteelliset keskivirheet vaihtelivat turvemaiden 55,3 prosentista kivennäismaiden 85,9 prosenttiin. Keskimäärin tässä toimenpideluokassa runkoluvun absoluuttinen keskivirhe oli 1 740 runkoa/ha. Turvemaidella absoluuttinen virhe oli 592 runkoa/ha, kivennäismailla keskimäärin 2 401 runkoa/ha.

Taulukko 3. Runkolukujen absoluuttiset ja suhteelliset keskivirheet hoitotoimenpideluokittain

MH1	RMSE	RMSE-%
Kaikki kuviot	1 436	36,6
Kivennäismaat	1 451	39,6
Turvemaat	1 417	33,5
MH2		
Kaikki kuviot	1 007	42,4
Kivennäismaat	1 154	40,6
Turvemaat	860	43,6
MH3		
Kaikki kuviot	1 740	90,4
Kivennäismaat	2 401	85,9
Turvemaat	592	55,3

3.7 Harha

Pituus

Taulukossa 4 esitetään pituuden absoluuttiset ja suhteelliset harhat hoitotoimenpideluokittain. Tarkastelu tehdään erikseen kivennäismailla ja turvemaidella sekä koko aineistolle.

”Hoitotarve heti” -luokassa suhteellinen harha vaihteli turvemaiden 7,7 prosentista kivennäismaiden 22,8 prosenttiin. Pituusmitoissa absoluuttinen harha oli kivennäismailla 0,87 metriä ja turvemaidella 0,40 metriä keskiarvon ollessa 0,63 metriä kuviota kohden.

Kuvioilla, joilla toimenpide ajoitettiin 1 - 5 vuoden päähän, pituuden suhteellinen harha oli keskimäärin 27,1 prosenttia. Kivennäismaakuvioilla harha oli 21,9 prosenttia ja turvemaidella 30,6 prosenttia. Absoluuttiset harhat vaihtelivat turvemaiden 1,41 metristä kivennäismaiden 0,80 metriin.

Kiireettömän hoitotarpeen kuviolla keskimääräinen absoluuttinen harha oli 0,65 metriä. Kivennäismailla absoluuttinen harha oli 0,11 metriä ja turvemaiden 1,17 metriä. Suhteelliset harhat vaihtelivat kivennäismaiden 3,5 prosentista turvemaiden 29,8 prosenttiin.

Taulukko 4. Pituuksien absoluuttiset ja suhteelliset harhat hoitotoimenpideluokittain

MH1	Harha	Harha-%
Kaikki kuviot	0,63	15,3
Kivennäismaat	0,87	22,8
Turvemaat	0,40	7,7
MH2		
Kaikki kuviot	1,13	27,1
Kivennäismaat	0,80	21,9
Turvemaat	1,41	30,6
MH3		
Kaikki kuviot	0,65	18,4
Kivennäismaat	0,11	3,5
Turvemaat	1,17	29,8

Runkoluku

Taulukossa 5 kuvataan runkolukujen absoluuttiset ja suhteelliset harhat hoitotoimenpideluokittain jaoteltuina koko aineistoon, kivennäismaihin ja turvemaihin. ”Hoitotarve heti” -luokasta käytetään lyhennettä MH1, ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokasta lyhennettä MH2 ja ”ei hoitotarvetta” -luokasta lyhennettä MH3.

”Hoitotarve heti” -luokan kuvioiden runkolukujen harhan vaihteluväli oli -89...-442 runkoa/ha maalajeittain. Turvemaiden suhteellinen harha oli keskimäärin -2,1 prosenttia ja kivennäismailla -12,1 prosenttia. Tarkasteltaessa kaikkia kuvioita saatiin absoluuttiseksi harhaksi -284 runkoa/ha ja suhteelliseksi -7,2 prosenttia.

Kuvioilla, joille ennustettiin taimikonhoito- tai taimikonperkaustoimenpiteitä 1 - 5 vuoden kuluessa, runkoluvun absoluuttinen harha oli keskimäärin -106 runkoa/ha. Kivennäismailla absoluuttinen harha oli 343 runkoa/ha ja turvemaiden -493 runkoa/ha. Suhteellinen harha turvemaiden oli -25,0 prosenttia ja kivennäismailla 12,1 prosenttia.

”Ei hoitotarvetta” -luokan kivennäismaakohteilla absoluuttinen harha oli 1 661 runkoa/ha ja suhteellinen harha 59,4 prosenttia. Turvemaakohteilla suhteellinen harha oli -193 runkoa/ha absoluuttisen harhan ollessa -18,0 prosenttia.

Taulukko 5. Runkolukujen absoluuttiset ja suhteelliset harhat hoitotoimenpideluokittain

MH1	Harha	Harha-%
Kaikki kuviot	-284	-7,2
Kivennäismaat	-442	-12,1
Turvemaat	-89	-2,1
MH2		
Kaikki kuviot	-106	-4,5
Kivennäismaat	343	12,1
Turvemaat	-493	-25,0
MH3		
Kaikki kuviot	724	37,6
Kivennäismaat	1 661	59,4
Turvemaat	-193	-18,0

4 TULOSTEN TARKASTELU

Tuloksia tarkastellessa oletetaan, että maastoinventoinneilla saadut tulokset ovat oikeita tuloksia, joihin laserkeilaimen ennustamia arvoja vertaillaan. Todellisuudessa maastossa inventoidut tulokset eivät koskaan ole täysin tarkkoja vaan lähinnä suuntaa-antavia. Suuntaa-antavatkin tulokset ovat taimikoiden hoitotoimenpiteiden määrittelyssä riittävät: runkolukuja tarkasteltaessa muutaman sadan rungon heilahtelut puoleen tai toiseen eivät ole hoitotoimenpiteiden määrittelyn kannalta merkittäviä. Kivennäismaat ja turvemaat on tarkoituksenmukaista ottaa mukaan tulosten tarkasteluun erillään, koska puustot eroavat huomattavasti toisistaan maalajin mukaan.

Runkolukuja tarkasteltaessa tulokset jakaantuvat laajemmalle alueelle menetelmien välillä käytännössä sattumanvaraisesti: joillakin kuvioilla maastossa mitatut runkoluvut ovat jopa kaksinkertaiset laserkeilaimen esittämiin tuloksiin verrattuna, mutta seuraavalla kuviolla laserkeilaimen ennustama runkoluku saattaa olla huomattavastikin maastossa mitattua suurempi. Pituuden määrittelyssä tulokset mahtuvat pienemmälle hajontavälille. Valtaosalla kuvioista mitatut pituudet ovat eri menetelmillä 40 prosentin sisällä toisistaan. Trendinä kuitenkin on, että maastossa mitatut pituudet ovat suuremmat kuin laserin ennustamat pituudet, laserkeilaimella puolestaan saadaan keski-

määrin suuremmat runkoluvut kuin maastomittauksilla. Laserkeilaimen tulosten tulkinnalle on tyypillistä tulkintatulosten keskimääräistyminen. Mikrokuviointi on muodostettu ruuduista ja mikrokuvioiden puustotunnuksiksi on laskettu ruutujen puustotunnusten keskiarvot.

4.1 Kivennäismaat

Kivennäismaakuvioiden toimenpide-ehdotukset ovat yhtenevät molemmilla inventointimenetelmillä 66 kuviolla. Koska kuvioita on yhteensä 114 kappaletta, saadaan toimenpide-ehdotusten onnistumisprosentiksi 57,9. Sitä ei voida pitää kovinkaan onnistuneena. ”Ei hoitotarvetta” -luokan kuvioiden toimenpidetarvetta havaittiin maastotarkastelun perusteella 16 kuviolla. Virhearvioiden tekeminen tällaisilla kuvioiden on ongelmallista, koska väärät päätökset voivat aiheuttaa suuriakin kasvutappioita.

Kiireellistä tai seuraavien viiden vuoden kuluessa toteutettavaa taimikonhoitoa tai -perkausta vaativia kuvioita on kivennäismailla laserkeilaintietojen perusteella 68 kappaletta. Maastotarkistuksen jälkeen samaan tulokseen päädytään 36 kuviolla, joten tulos ei ole yhtään parempi kuin laserinventointien perusteella kiireettömiksi arvioituilla kohteilla. Tällaisilla kohteilla virhearvioista ei aiheudu kuitenkaan samanlaista haittaa. On paljon haitallisempaa jättää sellaiset kohteet huomiotta, joilla olisi hoitotarvetta, kuin käydä ”turhaan” kohteilla, joilla hoitotarvetta ei lopulta olekaan. Ylimääräisiä kustannuksia turhat käynnit kuitenkin aiheuttavat.

4.1.1 Hoitotarve heti (MH1)

Kivennäismailla kiireellistä taimikonhoitoa tai -perkausta vaativia kuvioita on laserkeilaimen toimenpide-ehdotusten mukaan 37 kappaletta. Näistä kuvioiden maastomittausten jälkeen samaan tulokseen päädytään vain 22 kuviolla, jos mukaan otetaan myös kohteet, joille ehdotetaan maastossa taimikonhoitoa 1 - 5 vuoden kuluessa. Sellaisilla kohteilla kyse on aina enemmän tai vähemmän tulkinnasta: siinä missä yksi inventoija ehdottaa kiireellistä hoitotarvetta, toinen päätyy ehdottamaan hoitotarvetta vasta ensimmäisellä 5-vuotiskaudella. Näin ollen eri menetelmien väliset hoitotarpeen tulokset ovat yhtenevät 60-prosenttisesti.

Yhteensä 15 kuviolla päädytään erilaisiin toimenpide-ehdotuksiin menetelmien välillä. Näillä kuvioilla maastossa mitatut runkoluvut vaihtelevat 1 800 - 6 200 runkoa/ha, kun ne sisältävät sekä vallitsevan jakson että alikasvoksen ja 1 000 - 3 000 runkoa/ha, kun ne sisältävät vain vallitsevan jakson. Laserkeilain on ehdottanut kiireellistä hoitotarvetta, jos kuvion runkoluku on ollut vähintään 3 000 runkoa/ha. Laserkeilain mittaa kuitenkin puuston keskipituuden, joten jaksoittaiset vaihtelut eivät tule esiin. Esimerkiksi kuviolla voi olla pituudeltaan 6-metristä mäntyä 1 700 runkoa/ha ja kahden metristä pituista koivua 1 800 runkoa/ha, jolloin keilain tulkitsee runkoluvuksi 3 500 runkoa/ha ja keskipituudeksi 3,9 metriä ja ehdottaa taimikonhoitoa, vaikka koivut eivät haittaa männyn kasvua eikä taimikonhoitotarvetta sen perusteella ole.

Maastoinventointien perusteella ei aina ehdoteta hoitotoimenpiteitä, vaikka pelkästään runkolukuja tarkastelemalla niitä vaikuttaisikin olevan. Ensisijaisena kriteerinä taimikonhoidossa on vallitsevan puustojakson menestyminen. Taimikonhoito ei ole tarpeellista, jos alikasvos ei häiritse vallitsevan jakson kasvua. Etenkin männiköissä alikasvos varjostaa vallitsevan puujakson alempia oksia ja parantaa puuston laatua. Lisäksi alikasvoksen voi taimikonharvennuksen tai ensiharvennuksen yhteydessä hyödyntää energiapuuksi (Sirén & Heikkilä 2004).

Yhdellä kuviolla on sekaisin sekä kivennäis- että turvemaata, kivennäismaa vallitsevana. Laserkeilausmenetelmän ongelmana on, ettei sillä pystytä erottamaan kivennäis- ja turvemaita toisistaan vaikka pääsääntöisesti hoitotoimenpiteet kohdistetaan erikseen kivennäis- ja turvemaille. Myös puustoryppäät aiheuttavat eroja toimenpiteiden määrittelyssä. Luontaisesti syntyneet koivut muodostavat usein ryhmiä, jotka eivät aiheuta toimenpiteitä, jos ne eivät vaikuta häiritsevästi kasvatettavien puulajien kasvuun.

4.1.2 Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)

Hoitotarpeen ajoituksen määrittäminen on aina jossain määrin arvioijasta kiinni, minä vuoksi ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokka osoittautuu hankalaksi inventoimisen kannalta. Sama kuvio, missä toisen suunnittelijan mielestä hoitotarve on edessä heti, toisen mielestä taimikon voi antaa kasvaa vielä muutaman vuoden. Tässä luokassa toimenpide-ehdotusta pidetään paikkansapitävänä, jos kohteella on taimikonhoito- tai taimikonperkaustarvetta joko heti tai seuraavien 1 - 5 vuoden kuluessa.

Tällä tavalla poistetaan tulkinnan tuoma epävarmuustekijä. Hoitotarpeen määrittelyssä olennaisinta on se, että toimenpide tulee tehtyä ajallaan kuitenkin niin, että muutaman vuoden aikaistaminen on usein taimikon kannalta parempi ratkaisu kuin muutaman vuoden myöhästyminen hoitotoimissa.

Kivennäismailla maastossa arvioitu toimenpide-ehdotus poikkeaa laserkeilaimen tulosten pohjalta tulkitusta hoitoehdotuksesta 17 kuviolla, kun mukana ovat kaikki taimet. Pelkästään vallitsevan jakson perusteella hoitotarvetta ei ole 14 kuviolla. Tässä hoitoluokassa runkoluvun tulee olla välillä 2 000 - 3 000 runkoa/ha, jolloin taimikonhoito- tai -perkaustoimenpide on aiheellinen seuraavien viiden vuoden kuluessa. Tarkasteltaessa pelkästään vallitsevaa puujaksoa maastossa mitatut runkoluvut vaihtelevat välillä 1 000 - 3 200 runkoa/ha ja myös alikasvos mukaan lukien välillä 1 000 - 4 000 runkoa/ha. Kolmella kuviolla runkoluku edellyttäisi hoitotarvetta, mutta silmämääräisen maastotarkastelun perusteella kohteille ei esitetä toimenpiteitä.

Jos tarkasteluun otetaan vallitsevan jakson lisäksi myös alikasvos, hoitotarvetta ei tällöin ole 12 kuviolla. Viidellä kuviolla olisi runkoluvun perusteella hoitotarvetta, mutta maastotarkastuksen jälkeen toimenpiteitä ei esitetä. Näille kuvioille yhteistä on se, että puuston tilajakauma on puuston kehityksen ja kasvun kannalta hyvä, ja vähempiarvoisia lehtipuita kasvaa ryppäissä, mutta ne eivät varjosta kasvatettavia puulajeja.

4.1.3 Ei hoitotarvetta (MH3)

Laserkeilaimen tulosten perusteella kiireettömiksi ennustetuilta kuvioilta hoitotarvetta löydettiin maastotarkastelun jälkeen yhteensä 16 kuviolta. Kolmelle kuviolle ehdotetaan kiireellistä taimikonharvennusta, yhdeksälle kuviolle kiireellistä taimikonperkausta, kolmelle kuviolla taimikonharvennusta seuraavien viiden vuoden kuluessa ja yhdelle kuviolle taimikonperkausta seuraavien viiden vuoden kuluessa. Tällaiset tulokset eivät ole rohkaisevia laserkeilausmenetelmän kannalta. Virhearvioiden tekeminen tällaisilla kuvioilla on ongelmallista, koska väärät päätökset voivat aiheuttaa suuriakin kasvutappioita.

Usealla kuviolla, joilla toimenpide-ehdotukset eroavat menetelmien välillä, taimikon tilajakauma ei ole optimaalinen. Laserkeilain ei pysty tunnistamaan ja laskemaan tup-

paiden ja tiiviiden taimiryhmien taimia. Tämä voisi olla korjattavissa tiheäpulsseisen laseraineiston hyödyntämisellä (3 - 10 pulssia neliometriä kohden), tosin kustannustekijät eivät vielä sitä mahdollista. Joillakin kuvioilla todettiin viereisen kasvatusmetsän vaikuttaneen laserkeilaimen tarkkuuteen. Kapeilla, kookkaan metsän reunaa seuraavilla kuvioilla ei laseraineiston tulkinta ole onnistunut. Selittävänä tekijänä voi olla se, että kookas puusto on varjostanut taimikkokaistaletta niin tehokkaasti, etteivät laserpulsit ole saavuttaneet kohdettaan.

Pelkästään runkoluvun perusteella pääjaksoittain tarkasteltuna runkoluku ylittää toimenpiteiden rajan yhteensä 11 kuviolla, joskin kahdella kuviolla ollaan aivan Metsähallituksen taimikonhoito-ohjeiden rajoilla (2 500 runkoa/ha). Neljällä kuviolla runkoluku on pienempi kuin 2 500 runkoa/ha, mutta silti hoitotarvetta on, koska näillä kuvioilla puusto on sijoittunut epätasaisesti: paikoin on puustoisia kohtia, paikoin tiheitä mäntytuppaita ja lehtipuuvesakkoa.

Jos tarkastellaan keskiarvoa eli otetaan myös alikasvos mukaan, toimenpiteiden vaatima runkolukuraja ylittyy 12 kuviolla. Kolmella kuviolla raja ei ylity, mutta hoitotoimenpiteitä tarvitaan silti, koska taimet ovat tuppaisissa tai lehtipuiden varjostamina. Maastossa mitatut runkoluvut vaihtelevat vallitsevassa jaksossa välillä 1 400 - 8 700 runkoa/ha ja alikasvos mukaan lukien niin ikään välillä 1 400 - 8 700 runkoa/ha. Keskiarvo on koko puusto mukaan lukien 4 140 runkoa/ha.

4.2 Turvemaat

Turvemailla toimenpide-ehdotukset ovat jo hiukan lähempänä toisiaan menetelmien välillä. Etenkin ”ei hoitotarvetta” -luokassa tulokset ovat lähes täysin yhtenevät molemmilla arviointitavoilla. Syynä tähän voi olla se, että edellä mainitun hoitotarveluokan kuviot turvemailla ovat pääosin hyvin vähäpuustoisia. Vähäpuustoisilla kohteilla harvapulsseisella aineistolla on mahdollisesti pystytty tulkitsemaan suhteellisesti suurempi osuus rungoista kuin puustoltaan tiheimmillä kohteilla, mutta puuntuotannon kannalta tällaiset kuviot eivät ole merkityksellisiä. Osalle vähäpuustoisista kuvioista keilain on ehdottanut taimikonhoitoa 1 - 5 vuoden kuluessa. Tämä on systemaattista kuvioilla, joilla kasvaa runsaasti kookasta vaivaiskoivua. Laserkeilain on näissä tapa-

uksissa tulkinnut vaivaiskoivut lehtipuustoksi, mitä ne eivät ole taimikonhoitotöiden suunnittelun kannalta.

Turvemaiden 113 kuviosta oikein luokittui 80 kappaletta, eli 71 prosenttia kuviosta. ”Hoitotarve heti” -luokassa toimenpide-ehdotukset olivat menetelmien välillä yhtenevät 80-prosenttisesti, ”hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa” -luokassa 28-prosenttisesti ja ”ei hoitotarvetta” -luokassa peräti 98-prosenttisesti.

4.2.1 Hoitotarve heti (MH1)

Laserkeilaimen ennustamien tulosten perusteella turvemailla on yhteensä 30 kuviota, joilla on tarpeellista tehdä kiireellinen taimikonharvennus tai -perkaus. Maastoinventointien jälkeen samaan tulokseen päädytään 24 kuviolla. Kuudelle kuviolle ei maastoinventointien jälkeen esitetä hoitotoimenpiteitä. Maastossa mitatut runkoluvut vaihtelevat 1 800 - 6 900 runkoa/ha, jos mukaan otetaan koko puusto, ja 1 000 - 6 500 runkoa/ha, jos mukaan otetaan vain vallitseva puusto. Näistä yhdellä kuviolla maastossa mitattu runkoluku on 6 500 runkoa/ha ja taimikon keskipituus neljä metriä, mutta kuvio seurailee kauttaaltaan puronvartta. Kyseessä on metsälain kohde, *purojen ja pysyvän vedenjuoksu-uoman muodostavien norojen välitön lähiympäristö*, jonka käsittely ei ole lain mukaan mahdollista (Metsälaki 1996). Inventointialueella on myös toinen vastaavanlainen kuvio, joka runkoluvun sekä silmämääräisen maastoarvioinnin perusteella vaatisi kiireellistäkin taimikonhoitoa, mutta tässä tapauksessa kyseessä on puronvartta seuraileva mikrokuvio eli metsälain kohde. Tällaiset kohteet eivät tule esiin pelkästään kaukokartoitusmenetelmien avulla, mikä on yksi laserkeilausmenetelmän heikkous.

Runsaasti kookasta vaivaiskoivua sisältävät kuviot ovat ongelmallisia laserkeilauksen kannalta: keilauksella ei pystytä erottamaan kasvatettavia puuntaimia vaivaiskoivuista. Karuilla ja vähäpuustoisilla turvemaakuviolla voi laserkeilaustulosten perusteella olla useita tuhansia taimia, vaikka maastoinventoinneilla taimia inventoidaan vain joitakin satoja.

4.2.2 Hoitotarve 1 - 5 vuoden kuluessa (MH2)

Tässä hoitoluokassa laserkeilaimen tulokset eroavat suuresti maastossa mitatuista tuloksista. Ainoastaan 10 kuviolla toimenpide-ehdotukset ovat menetelmien välillä samankaltaiset sillä erotuksella, että kahdelle kuviolle esitetään maastomittausten perusteella kiireellistä taimikonhoitotarvetta ja kahdeksalle kuviolle hoitoluokan mukaista viiden vuoden kuluessa suoritettavaa taimikonhoitoa tai -perkausta.

Yhteensä 26 kuviolle arvioidaan maastotarkastelun perusteella erilainen hoitotarve, kuin laserkeilaimen tulosten tulkinnassa on saatu. Vallitsevan puuston maastossa mitatut runkoluvut vaihtelevat 600 - 1 800 runkoa/ha ja alikasvos mukaan lukien 900 - 4 700 runkoa/ha. Vallitsevan jakson runkoluvun perusteella yhdelläkään kuviolla ei ole hoitotarvetta. Kun tarkastellaan kuvioiden kokonaispuustoa alikasvos mukaan lukien, hoitotarvetta olisi runkoluvun perusteella viidellä kuviolla. Maastotarkastelun perusteella taimikonhoitotoimenpiteitä ei kuitenkaan ehdoteta kyseisille kohteille, koska alikasvos ei häiritse vallitsevan puustojakson kasvua. Turvemaiden kuvioilla alikasvos muodostuu yleensä lehtipuista, jotka ovat ryppäissä. Lehtipuut ovat yleensä huonolaatuisia hieskoivuja tai harmaaleppiä, joiden poistamisella ei saavuteta taloudellista hyötyä. Tämän lisäksi lehtipuusto on sijoittunut etupäässä ojien välittömään läheisyyteen. Yhdellä kuviolla on metsälain 10§:n mukainen kohde, noro.

4.2.3 Ei hoitotarvetta (MH3)

Laserkeilausmenetelmän ja maastoinventointien tulokset ovat kaikkein lähimpänä toisiaan turvemaakuvioilla, joille ei ennusteta hoitotarvetta seuraavien viiden vuoden aikana. Tällaisilla kohteilla voidaan laserkeilainmenetelmällä päästä tarkkuuteen, joka vastaa maastomittauksilla saatavaa informaatiota. Keilaustulosten perusteella 47 kuviolle ei esitetä hoitotoimenpiteitä, ja maastomittausten jälkeen samaan tulokseen päädytään 46 kuviolla. Ainoastaan yhdelle kuviolle ehdotetaan taimikonharvennusta 1 - 5 vuoden kuluessa. Tällä kuviolla runkoluku on 2 000 runkoa/ha (keilain 1 019 runkoa/ha) ja keskipituus 3,5 metriä (keilain 2,7 metriä), ja puusto on turvemaiden tapaan sijoittunut ryppäisiin ja tässä tapauksessa siten, että kasvatettavan puulajin kasvu on vaarassa häiriintyä.

Tämän tutkimuksen perusteella yhtenä syynä lasertulkinnan onnistumiseen toimenpite-ehdotusten arvioinnissa turvemailla on karujen turvemaakuvioiden harva puusto, jonka tulkinta onnistunee harvapulssisellakin aineistolla. Toisaalta Metsähallituksella on käynnissä hanke, jossa tutkitaan kitu- ja metsämaan rajan selvittämistä laseraineiston avulla, eivätkä harvapuustoiset alueet tutkimuksen perusteella ole yleensä helppoja kohteita (Laamanen 2010). Keskimääräinen maastossa mitattu runkoluku tämän hoitoluokan kohteilla on 1 070 runkoa/ha, kun laserkeilaimen tulosten perusteella runkoluvuksi saadaan 1265 runkoa/ha.

4.3 Havu- ja lehtipuuprosentit ja niiden vertailu menetelmien välillä

Lehti- ja havupuuprosentit määritetään aluepohjaisissa laserkeilausmenetelmissä ilmakuvien avulla. Laserkeilaimen datasta ei saada suoraan erotettua puulajeja toisistaan. Metsänhoidollisten toimenpiteiden kannalta yleensä riittää jako lehti- ja havupuuihin. Esimerkiksi havupuulajeja ei ole tarpeellista erottaa toisistaan määriteltäessä hoitotarvetta ja ajoitusta, koska yleensä havupuut ovat aina kasvatettavia puulajeja.

Lehtipuuprosentit on tulkittu ilmakuvien perusteella systemaattisesti liian suuriksi. Keskimäärin kaikki kuviot mukaan lukien lehtipuuta on arvioitu olevan noin 15 prosenttiyksikköä enemmän kuin maastossa on lopulta mitattu. Havupuilla tilanne on luonnollisesti toisinpäin, sillä ilmakuvatulkinnalla on arvioitu havupuuta olevan vähemmän kuin maastossa on mitattu. Yhteenlasketuissa prosenteissa ei päästä sataan asti, koska joukossa on muutamia kuvioita, joilla ei maastotarkastelussa havaittu lainkaan taimia. Lisäksi ilmakuvatulkinnalla saadut havu- ja lehtipuuprosentit eivät muutamalla kuviolla syystä tai toisesta ole yhteensä sataa prosenttia.

Ilmakuvien laatu vaikuttaa suoraan ilmakuvatulkinnan tarkkuuteen. Tarkkaa tulkintaa varten tarvitaan mahdollisimman tuoreita kuvia, jotka on otettu oikeaan aikaan ja ilman häiriöitä: lehtipuissa on oltava lehdet kuvauksen aikana ja sään on oltava pilvetön, jotteivät pilvien aiheuttamat varjot vaikeuta kuvien tulkintaa. Kuhmon taimikko-projektissa käytetyt ilmakuvat olivat vanhoja, vuodelta 2005. Tämä on varmasti vaikuttanut puulajisuhteiden tulkinnan epäonnistumiseen.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Aikaisemman taimikkotutkimuksen tulokset

Vuonna 2008 julkaistussa tutkimuksessa selvitettiin laserkeilauksella tuotetun inventointitiedon luotettavuutta varttuneissa kuusentaimikoissa, joiden pituus oli 2 - 8 metriä. Pituuden keskivirheeksi tutkimuksessa saatiin 0,63 metriä ja tiheyden keskivirheeksi 1 782 runkoa/ha. Suhteelliset pituuden keskivirheet olivat siten 15,9 prosenttia ja tiheyden 45,2 prosenttia. Sekä pituuden että tiheyden mallit olivat tutkimuksessa lähes harhattomia. (Närhi ym. 2008, 11.)

Taimikonhoidon kiireellisyysluokittelu onnistui tutkimuksen perusteella 69,2-prosenttisesti. Yhtenevimmät tulokset saatiin kiireellistä taimikonhoitoa vaativilta kohteilta, joista 93,3 prosenttia luokitui oikein. Huonoiten onnistuivat kohteet, joille ei maastomittausten perusteella ehdotettu hoitotarvetta: tässä luokassa vain 6,1 prosenttia kohteista luokitui oikein (taulukko 6). Koealoista, joille ei maastoinventointien perusteella ehdotettu taimikonhoitotoimenpiteitä, luokitui 78,8 prosenttia lasertulkinnan seurauksena virheellisesti luokkaan hoitotarve heti. (Närhi ym. 2008, 12.)

Tulosten perusteella todettiin laserkeilauksen olevan tulevaisuuden menetelmä myös nuorten metsien inventoinnissa ja hoitotarpeen määrittelyssä, vaikka menetelmä vaatii vielä kehittämistä. Suurimpana ongelmana pidettiin laserkeilaimen kyvyttömyyttä tunnistaa eri puulajeja toisistaan. Tutkimuksessa todettiin lisäksi, ettei laserkeilaus sovellu keskipituudeltaan alle 1,5 metrin taimikoiden inventointiin, koska maanpinnan epätasaisuudet aiheuttavat virhettä tuloksiin tätä pienemmillä pituuksilla. (Närhi ym. 2008, 14.)

Taulukko 6. Regressiomalleilla ennustettujen tunnusten avulla määritettyjen luokkien suhteelliset (%) luokitustulokset (Närhi ym. 2008, 12)

Maastoinventointiluokka	Ennustettu luokitus, %			
	Ei toimenpidettä	5 v:n kuluessa	Heti	Yhteensä
Ei toimenpidettä	6,1	15,2	78,8	100,0
5 v:n kuluessa	7,1	50,0	43,9	100,0
Heti	0,8	5,8	93,3	100,0

5.2 Johtopäätökset

Laserkeilaus on menetelmänä puustotunnusten arvioinnissa vielä melko uusi, joten se vaatii kehittämistä jokaisella osa-alueella. Samaan aikaan taimikko-osuuden kanssa tutkittiin itäisessä Kuhmossa laserkeilauksen soveltamista kasvatusmetsien arviointiin ja turvemaiden kunnostusojitusten suunnitteluun. Näissä molemmissa tulokset olivat rohkaisevia. (Metsähallitus 2009.)

Nykyisin operatiivisessa käytössä olevat harvapulssiset laserkeilausmenetelmät eivät tämän tutkimuksen perusteella takaa riittävän tarkkaa tietoa taimikoiden tilasta: laser-tulkinnalla kiireettömiksi ennustetuista kohteista usealla hoitotarvetta löydettiin maastotarkastelun jälkeen ja vastaavasti osalla kiireellisiksi ennustetuista kohteista hoitotarvetta ei maastoinventointien perusteella havaittu. Koko aineistoa tarkastellessa taimikonhoidon kiireellisyysluokittelu onnistui 64,3-prosenttisesti. Kivennäismaakohteilla onnistumisprosentti oli 57,9 ja turvemaakohteilla 70,8.

Laseraineiston tulkintamenetelmiä kehittämällä saattaisi olla mahdollista saada tarkempia tuloksia. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin laserkeilausmenetelmän kalleus: taimikoiden tilan ja kehityksen seuraamisen kannalta riittävän lyhyen keilaussyklin aikaansaaminen ei ainakaan vielä ole taloudellisesti mahdollista, mikä rajoittanee menetelmän käyttöä taimikoninventoinneissa.

Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina. Puustotunnusten maastomittauksissa käytettiin perinteisiä taimikoninventoinnin menetelmiä ja myös silmämääräistä arviointia. Lisäksi koealat asetettiin kuvioille silmämääräisesti ja koealojen välit määritettiin askelmitalla. Tämä voi vaikuttaa runkoluku- ja pituusmittaustuloksiin, mutta erot tuskin ovat merkittäviä.

Puulajisuhteiden tulkinnassa jouduttiin syystä tai toisesta käyttämään vuoden 2005 ilmakuvia, mikä osaltaan saattaa selittää ilmakuvatulkinnan ja maastomittausten erot puulajisuhteiden määrittämisessä. Laserkeilausmenetelmään liittyvän ilmakuvatulkinnan perusteella johdettuja puulajisuhteita ei välttämättä voida pitää kovinkaan luotettavina.

Hoitotarpeen määrittelyssä puustotunnusten mittausta yhdistettynä silmämääräisellä arvioinnilla antanee paremman tuloksen kuin pelkkien mittaustulosten perusteella tapahtuva hoitotarpeen määrittely. Näiden seikkojen perusteella voisi todeta, että toimenpite-ehdotusten puolesta tulokset ovat luotettavia, mutta yksittäisten puustotunnusten (pituuden, runkoluvun ja puulajisuhteiden) mittaustulokset riippuvat tutkijasta ja koelohjen sijoittelusta.

Inventoidut mikrokuviot jakaantuivat melko tasan kivennäis- ja turvemaihin, minkä ansiosta tutkimustietoa saatiin molempien maalajien kohteista. Kuitenkin suurehko osa turvemaakohteista oli kasvupaikaltaan niin karuja, ettei niillä ollut metsätaloudellista merkitystä. Olisi mahdollisesti ollut parempi jakaa aineisto jo alkuvaiheessa kivennäis- ja turvemaihin ja tehdä molemmille oma satunnaisotanta tai jopa keskittyä pelkästään kivennäismaakohteiden tarkasteluun.

Tutkimukselle asetetut tavoitteet täyttyivät. Aluepohjaisen laserkeilausmenetelmän soveltuvuudesta taimikoiden inventointiin saatiin lisää tietoa, vaikkakin maastomittauksissa käytettiin enemmän käytännön taimikon inventoinnin kuin tieteellisen tutkimuksen menetelmiä. Laserkeilausmenetelmän kehittämisen pääpaino vaikuttaa olevan kasvatusmetsien tulkinnassa, mutta lisätutkimukset myös taimikoista olisivat edelleen tarpeellisia.

LÄHTEET

Arbonaut Oy. 2009a. Arbolidar: Tarkka metsävaratieto lisää suunnittelun ja toteutuksen tehokkuutta. Saatavissa: http://www.arbonaut.com/files/whitepaper070809_suomikevyt.pdf. PDF-tiedosto [viitattu 8.3.2010].

Arbonaut Oy. 2009b. ArboLIDAR Inventory: Methodology, Results and Statistical Quality Report. Laserkeilausaineiston toimittajan laaturaportti Metsähallitukselle. Ei julkinen.

Arbonaut Oy:n Internet-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.arbonaut.fi> [viitattu 3.3.2010].

FM-international Oy:n Internet-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.finnmap.com/fi> [viitattu 3.3.2010].

Holappa, A <ari.holappa@metsa.fi>. 16.3.2010. *Vs: Kysymys opinnäytetyöhön liittyen.* [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Saatavissa sähköpostitse: <jari.o.laine@student.kyamk.fi>.

Holopainen, M., Hyyppä, J., Puttonen, E. & Vastaranta, M. 2009. Yksittäisten puiden mittaus ja muutosten seuranta laserkeilauksella. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2009: s. 365.

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Saatavissa: http://www.leica.fi/Geo/lisatietoa/HDS_Laserkeilaus/pdf/Laserkeilauksenperusteita.pdf. PDF-tiedosto [viitattu 20.12.2009].

Kuhmon kaupungin Internet-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.kuhmo.fi> [viitattu 16.3.2010].

Laaksonen, H. 2009. Uusi valtakunnallinen korkeusmalli keilaamalla. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=1213>. PowerPoint -esitys [viitattu 19.1.2010].

Laamanen, R. 2009. Laserinventoinnit – taustaa, käsitteitä, odotuksia. Tulosseminaari 17.9.2009. Vantaa. Ei julkinen.

Laamanen, R <risto.laamanen@metsa.fi>. 7.4.2010. *Vs: Opinnäytteen viimeinen luonnos*. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Saatavissa sähköpostitse: <jari.o.laine@student.kyamk.fi>.

Leskinen, A. 2007. Taimikonhoidon työohje metsuritiimille/urakoitsijoille. Kajaani: Metsähallitus. Ei julkinen.

Maltamo, M. 2006. Laserkeilaus mullisti metsätieteitä. *Ostiensis* 2/2006, s. 33. Saatavissa verkkolehtenä: <http://www.joensuu.fi/viestinta/tiedotuslehdet/Ostiensis/2006/ostiensis206.pdf>. PDF-tiedosto [viitattu 17.3.2010].

Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät: Otokset, otosjakaumat ja estimointi, s.78. Helsingin yliopisto. Saatavissa: <http://math.tkk.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/OtosEstim.pdf>. PDF-versio [viitattu 22.3.2010].

Metsähallitus. 2009. Laserinventointien kehittämisprojektit. Tulosseminaari 17.9.2009. Vantaa. Ei julkinen.

Metsähallituksen Internet-sivut. 2010. Saatavissa: <http://www.metsa.fi> [viitattu 3.3.2010].

Metsälaki 12.12.1996/1093.

Moilanen, J <jussi.moilanen@metsa.fi>. 16.3.2010. *Vs: Laserkeilausprojektista....* [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Saatavissa sähköpostitse: <jari.o.laine@student.kyamk.fi>.

Määttä, J. 2009. Taimikkodatan muokkaus MapInfossa. Atk-tallenne. [viitattu 3.3.2010]. Saatavissa sähköpostitse: <jari.o.laine@student.kyamk.fi>.

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: s. 5 - 15.

Orre, T <timo.orre@metsa.fi>. 17.3.2010. *Vs: Kysymys opinnäytetyöhön liittyen*. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Saatavissa sähköpostitse: <jari.o.laine@student.kyamk.fi>.

Peuhkurinen, J <jussi.peuhkurinen@arbonaut.com>. 19.2.2010. *Re: Kysymyksiä laserkeilausprojektista liittyen opinnäytetyöhön*. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Saatavissa sähköpostitse: <jari.o.laine@student.kyamk.fi>.

Pihlava, M. 2008. Laserkeilaus mittaa metsät yhden puun tarkkuudella. *Tekniikka & Talous* 18.4.2008. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/article77320.ece>. Verkkolehti [viitattu 19.1.2010].

Sirén, M. & Heikkilä, J. 2004. Energiapuu osaksi kasvatusketjua. Nuoret metsät energialähteenä - seminaari 1.9.2004. Joensuu. Saatavissa: http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/Nuoret_metsat/SirenxHeikkilx_luento.pdf. PDF-tiedosto [viitattu 15.3.2010].

Tapio. 2008. Metsäkeskusten uuden metsävaratietojärjestelmän kehittäminen – missä mennään? Tforest-käyttäjäpäivä 19.11.2008. Kokkola: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Tuloste.

Terve Metsä. Syyskuu 2009. Satelliiteista laserkeilaukseen. *Stora Enson asiakaslehti*, s. 25.

Tuominen, S. 2003. MARV6-harjoitus 5. Helsingin yliopisto: maatalousmetsätieteellinen tiedekunta. Saatavissa: <http://www.mm.helsinki.fi/kurssi/Marv/Marv6/M6HARJ5.doc>. Word-tiedosto [viitattu 22.3.2010].

Tuominen, S. & Pekkarinen, A. 2007. Kuvioraja-aineiston virheiden korjaaminen numeeristen ortoilmakuvien ja automaattisen segmentoinnin avulla. Metsätieteen aikakauskirja 2/2007: s. 95.

