



Uusia

menetelmiä metsävaratietojen hyödyntämiseen

Petteri Weckström (toim.)



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

Uusia menetelmiä metsävaratietojen hyödyntämiseen

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA 180

PETTERI WECKSTRÖM (TOIM.)

Uusia menetelmiä metsävaratietojen hyödyntämiseen



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA -SARJA
Toimittaja • Teemu Makkonen

© 2014

Tekijät & Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Petteri Weckström (toim.)

UUSIA MENETELMIÄ METSÄVARATIETOJEN HYÖDYNTÄMISEEN

Kannen kuvat •

Kalevi Pietikäinen, Risto Viitala, Petteri Weckström,

Risto Viitala, Tanja Minkkinen & Olli Väänänen

Ulkoasu • JAMK / Pekka Salminen

Taitto ja paino • Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print • 2014

ISBN 978-951-830-335-3 (Painettu)

ISBN 978-951-830-336-0 (PDF)

ISSN-L 1456-2332

JAKELU

Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjasto

PL 207, 40101 Jyväskylä

Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä

Puh. 040 552 6541

Sähköposti: julkaisut@jamk.fi

www.jamk.fi/julkaisut

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	6
ABSTRACT	7
ESIPUHE.....	8
JOHDANTO	10

OSA I – NUOREN JA KUNNOSTAMATTOMAN METSÄN HOITOTARPEEN TUNNISTAMINEN LENTOKEILAUSDATASTA

Risto Viitala, Raito Paananen

KAUKOKARTOITUSPERUSTEINEN METSIEN INVENTOINTI	16
---	----

Kalevi Pietikäinen, Risto Viitala

NUORTEN KUNNOSTAMATTOMIEN METSIEN INVENTOINTI JA METSÄNKÄSITTELYTARPEEN TUNNISTAMINEN	27
--	----

Kalevi Pietikäinen

TAIMIKON TAI NUOREN METSÄN HOITOTARPEEN TUNNISTAMINEN PAIKKATIETOON SIDOTTUNA.....	39
---	----

OSA II – MAASTOMITTAUSMENETELMIÄ NUORTEN KUNNOSTAMATTOMIEN METSIEN HOIDON SUUNNITTELUUN

Tapani Sauranen, Raito Paananen

KATSAUS NYKYISIIN METSIKÖN MITTAUSMENETELMIIN	54
---	----

Olli Väänänen ja Riitta Pellinen

KEHITTEILLÄ OLEVAT MITTAUSMENETELMÄT NUOREN METSÄN KUNNOSTUSTYÖMÄÄRIEN ARVIOINTIIN	61
---	----

PROJEKTIN JULKAISULUETTELO	77
----------------------------------	----

KIRJOITTAJAT	80
--------------------	----

TIIVISTELMÄ

Petteri Weckström (toim.)

Uusia menetelmiä metsävaratietojen hyödyntämiseen.

(Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja, 180)

Maastossa toteutettava koealaperusteinen metsänmittaus on sekä kallista että asiantuntemusta vaativaa työtä. Kaukokartoitusmenetelmiin ja erityisesti lentokoneella suoritettavaan laserkeilaukseen perustuva metsänhoidon suunnittelu onkin yleistynyt viime vuosina. Inventoinnin kannalta haasteellisia ja samalla metsänhoidon sekä energiapuun korjuun näkökulmasta tärkeitä kohteita ovat esimerkiksi tiheät, peitteiset ja hoitamattomat nuoret metsät, joissa optisin menetelmin tuotettu puustotieto ei ole päätöksenteon kannalta tarpeeksi tarkkaa.

Euroopan maaseuturahaston osarahoittaman ”Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä 2011–2014”-projektin tarkoituksena on ollut metsävaratietojen mittaamisen ja hyödyntämisen kehittäminen erityisesti kunnostamattomissa metsissä energiapuun korjuun tarpeisiin siten, että koealamittauksilla ja lentokeilauksella saadut metsävaratiedot täydentävät toisiaan ja että niiden käsittely on kehittynyt. Metsänhoitoyhdistysten ja metsänomistajien näkökulmasta puolestaan keskeistä on ollut kehittää kustannustehokas mobiilisovellus omatoimisen metsänhoidon suunnitteluun sekä korjuutyön määrän ja työvaikeuden arviointiin työlajeittain.

Tässä raportissa olemme koonneet projektin keskeiset tulokset laserkeilausaineiston suoratulkintamenetelmän sekä metsänomistajille ja -yrittäjille kehitetyn JokaMies -mobiilisovelluksen kehitystyöstä.

Avainsanat; mittausmenetelmä, metsänhoito, työvaikeusluokitus, laserkeilaus, älypuhelinsovellus, metsävaratieto, kaukokartoitus

ABSTRACT

Petteri Weckström (ed.)

Uusia menetelmiä metsävaratietojen hyödyntämiseen.

(Publications of JAMK University of Applied Sciences, 180)

The field based forest measurement and classification is both expensive and specialty demanding work. Remote sensing methods, in particular airborne laser scanning-based forest management planning has become more common in the recent years. Challenging for the inventing and at the same time important from the forest management and energy wood harvesting perspective are dense, obstructed and untreated young forests where the forestry information produced by optical methods, is not accurate enough for decision-making.

The "Forest Resource Measurement in Untreated Forests 2011–2014" -project's, financed by the EAFRD, objective has been to develop the forest resource data measurement and exploiting processes especially in the untreated, young forests for energy wood harvesting. Aim of the project has been that the forest resource information measured by field measurement and airborne laser scanning are complementing each other and that their processing is evolved. From the perspective of forest owners and associations the project's objective has been to develop a cost-efficient mobile phone application for independent planning of the forestry work needs and estimating the amount and difficulty of the harvest work types.

In this report, we have compiled the project's results of the developed laser scanning based direct interpretation method, and the JokaMies-mobile application.

Keywords; measurement method, forestry management, thinning work classification, laser scanning, smart phone application, forest resource information, remote sensing

ESIPUHE

Suomen maapinta-alasta metsiä on 75 prosenttia. Metsissämme on n. 2,3 miljardia kuutiometriä puuta ja puuston vuotuinen kasvu tällä hetkellä 104 milj. m³. Vuotuisesta kasvusta hyödynnetään eri käyttötarkoituksiin vuosittain vain reilu puolet. Metsien käyttö on kuitenkin kasvamassa ja monipuolistumassa. Perinteisen saha-, massa- ja paperiteollisuuden ohella puulle on kehitetty myös monia uusia käyttötarkoituksia, kuten tekstiili- ja kemian teollisuudessa. Hyvänä merkinä puun kasvavasta käytöstä on myös uuden biotuotetehtaan rakentamissuunnitelma Äänekoskelle.

Unohtaa ei sovi myöskään metsien merkitystä uusiutuvan energian lähteenä ja hiilen sitojana. Tässä avainasemassa ovat nuorissa metsissä oleva kasvukykyinen puusto, jota voidaan parhaiten hyödyntää juuri energiakäyttöön.

Suomen metsävarat tunnetaan hyvin ja niiden suuralueitaista ja kunnittaista tilaa ja kehitystä seurataan valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) avulla. Viimeisimmän inventoinnin mukaan nuorten, alle 40-vuotiaiden metsien pinta-ala on lähes 7 milj. ha. Näistä yli 20 % on sellaisia, joissa taimikonhoito tai ensiharvennus on metsähoidollisesti arvioituna myöhässä.

Metsissä tehtävän operatiivisen toiminnan perusteeksi kerätään tila- ja kuviokohtaista tietoa mm. laserkeilauksella, ilmakuvauksilla sekä erilaisin maastomittauksin. Tätä tietoa käytetään myös yksityisten metsänomistajien neuvontaan ja tietopalveluihin.

Nuorten hoitamattomien metsien mittaamiseen liittyy edelleenkin paljon haasteita. EU:n Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelman rahoittamassa Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä -hankkeessa tavoitteena on ollut mittaamisen ja hyödyntämisen kehittäminen erityisesti energia-puun korjuussa kunnostamattomista metsistä.

Hankkeessa on haettu poikkitieteellisesti ja ennakkoluulottomasti uusia menetelmiä ja tekniikoita puuston mittaamiseen maastossa sekä laserkeilaus-aineistojen hyödyntämiseen nuorten metsien metsävarojen kartoituksessa. Projektissa on ollut mukana asiantuntijoita ja käytännön metsäammattilaisia kahdesta ammattikorkeakoulusta (Jyväskylän ja Hämeen ammattikorkeakoulu), Suomen metsäkeskuksesta sekä Metsänhoitoyhdistys Keski-Suomesta. Hankkeessa on tehty myös lukuisia määriä metsä- ja tietotekniikan alan amkopinnäyte- ja harjoitustöitä.

Projektin keskeisiä tuloksia ovat älypuhelimella tehtävään metsänmittaukseen soveltuva JokaMies-mobiilisovellus sekä laserkeilausaineistoon perustuva taimikoiden ja nuorten metsien hoitotarpeen tulkinta-algoritmi.

Monet kehitetyistä menetelmistä tarvitsevat vielä jatkotestausta ja -kehitystä ennen niiden laajempaa käytäntöön soveltamista. Toivottavasti niistä saadaan ajan mittaan hyötyä sekä metsänomistajille että metsäsektorin toimijoille niin, että nuorissa metsissä olevat energia- ja ainespuuvarannot saadaan täysmääräiseen käyttöön ja että nuorten metsien tila kohenee.

Raito Paananen
Suomen metsäkeskus

JOHDANTO

Metsäsuunnittelussa eletään parhaillaan murroksen aikaa. Metsäsuunnittelusta vuonna 2012 väitelleen Raili Hokajärven mukaan kyse ei ole vain teknisistä muutoksista (esim. inventointimenetelmien kehittyminen) tai metsäsuunnitteluorganisaatioiden muutoksesta (vrt. metsäkeskusten organisointi Suomen metsäkeskukseksi), vaan enemmänkin siitä, että suunnittelun tulee olla aiempaa monitavoitteisempaa ja asiakaslähtöisempää. Tulevaisuudessa yhteistyön merkitys kasvaa, samoin metsiin liittyvät palvelut moninaistuvat.

Hokajärvi uskoo, että tiedonkeruulla ja toiminnalla tulee olemaan selkeä yhteys. Onkin oleellista, että kerätty tieto oikeasti vaikuttaisi toimenpidetasolla. Tässä tarvitaan vielä kehitystyötä. Metsänomistajien joukko on tulevaisuudessa yhä heterogeenisempi, samoin metsienkäsittelymuodot ovat aiempaa kirjavampia ja yksilöllisempiä. Tästä aiheutuu lukuisia käytännön haasteita. Pelkkä tekninen tiedonkeruu ei riitä. On erittäin tärkeää, että suunnittelu johtaa käytännön toimenpiteisiin (Hokajärvi 2012).

OIKEANLAISTA INVENTOINTITIETOA ERI KÄYTTÖTARKOITUKSIIN

Maastossa tapahtuva metsänmittaus on kallista. Kaukokartoitusmenetelmien käyttö metsäsuunnittelussa onkin yleistynyt viime vuosina. Maastomittauksia tarvitaan toki edelleen myös kaukokartoitusaineiston tulkinnessa ja toisaalta myös laadunvarmistuksessa. Toisaalta metsäsuunnittelun inventointitiedon tulee olla riittävän tarkkaa ja toki myös ajantasaista, jotta esimerkiksi metsänhoitotoimenpiteitä voitaisiin näiden tietojen pohjalta suunnitella. Inventoinnin kannalta haasteellisia, ja samalla myös metsänhoidon ja energiapuunkorjuun näkökulmasta tärkeitä kohteita, ovat esimerkiksi tiheät, peitteiset ja hoitamattomat nuoret metsät, joissa nykyisin optisin menetelmin tuotettu puustotieto ei ole päätöksenteon kannalta tarpeeksi tarkkaa (Vastaranta, Holopainen, Kaartinen, Hyypä & Hyypä 2009).

Esimerkiksi yksityismetsien metsäsuunnittelussa kerätään kuviotason metsikkötietoa kaukokartoitusmenetelmien avulla. Nykyisin inventointi perustuu aluepohjaiseen lasertulkintaan ja laserkeilausaineiston, vääräväriilmakuvien ja paikannettujen maastokoealojen yhdistämiseen. Varttuneissa metsissä puustotunnukset saadaan määritettyä tarkasti, mutta taimikoissa ja nuorissa hoitamattomissa metsissä runkoluvun, puulajisuhteiden ja hoitotar-

peen arviointi kaukokartoituksella on osoittautunut ongelmalliseksi. Tällaiset kohteet pitää edelleen tarkistaa maastossa (Korhonen, Pippuri, Packalén, Heikkinen, Maltamo, Heikkilä 2013). Ihanteellista olisi, jos metsäsuunnittelun tuottama inventointitieto olisi lähtökohtaisesti niin tarkkaa, että se palvelisi sellaisenaan leimikonsuunnittelua työvaikeusluokituksineen.

METSÄVARAMITTAUS – PROJEKTIN LÄHTÖKOHDAT JA TULOSTAVOITTEET

”Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä” on Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman (2007–2013) rahoittama kehittämisshanke (2011–2014), jonka tarkoituksena on ollut metsävaratietojen mittaamisen ja hyödyntämisen kehittäminen erityisesti kunnostamattomissa metsissä energiapuunkorjuun tarpeisiin. Projektin taustalla on vuonna 2010 Jyväskylän ammattikorkeakoulussa (JAMK) toteutettu esiselvitystyö, josta selkeästi ilmeni, että maastossa tehtävää koealamittauksista tulee kehittää kaukokartoitusmenetelmien tueksi ja niitä täydentämään ja että tarvitaan riittävän tarkkaa, mutta kustannustehokasta tietoa käytännön metsänhoitotöiden suunnittelua ja toteuttamista varten. Käytännössä tämä tarkoittaa mittausmenetelmien kehittämistä sekä eri lähteistä tulevien mittaustietojen hyödyntämistä ja yhteensovittamista.

”Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä”-projektin tulostavoitteet on määritelty seuraavasti:

1. Projektissa kehitetty puuston mittausmenetelmä tuottaa tiedot mitattavan alan korjuutyön määrästä työlajeittain.
2. Koealamittauksilla ja lentokeilauksella saadut metsävaratiedot täydentävät toisiaan ja niiden käsittely on kehittynyt.

Jyväskylän ammattikorkeakoululla (JAMK) on ollut päävastuu Metsävaramittaus-projektin toteutuksesta. Työtä on tehty tiiviissä yhteistyössä Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK), Suomen Metsäkeskuksen sekä Metsänhoitoyhdistys Keski-Suomen kanssa. Tärkeänä yhteistyökumppanina toimi myös metsänomistaja, yrittäjä Vesa Kankaanpää, jonka metsätalalla Keuruulla on tehty käytännön maastokoealamittauksia. Kankaanpää toi metsäomistajien tarpeita ja näkökulmaa esille myös projektin ohjausryhmyöskentelyssä.

KEHITYSTYÖTÄ ERILAIISIIN TARPEISIIN

Projektin lähtökohtana on ollut se, että uuden mittausmenetelmän kehittäminen on tarpeellista ainakin kahdesta näkökulmasta. Esimerkiksi Suomen metsäkeskukselle on ollut tärkeää itse metsävarojen inventointimenetelmän kehittäminen yksityismetsiin. Tavoitteena on ollut se, että koealamittauksilla ja lentokeilauksella saadut metsävaratiedot täydentävät toisiaan ja että niiden käsittely on kehittynyt. Metsänhoitoyhdistysten ja metsänomistajien näkökulmasta puolestaan keskeistä on ollut kehittää työkalu korjuutyön määrän ja työvaikeuden arvioimiseksi työlajeittain. Molempia osatavoitteita varten tärkeitä tunnuslukuja inventointikohteilla ovat esimerkiksi runkolukusarjat, pituusjakaumat sekä läpimittajakaumat.

Projektisuunnitelmassa määriteltiin projektille useita osatuotoksia: analyysit käytössä olevista mittausmenetelmistä, uuden mittausmenetelmän kehittäminen kunnostamattomien metsien hoitotoimenpiteiden laskentaan, uudet algoritmit metsän tilajärjestyksen kuvaamiseksi, raportit maastokoealojen mittauksista, menetelmätyön tuloksista ja kehittämisehdotuksista sekä uudet koulutusmateriaalit. Tähän loppuraporttiin olemme koonneet hankkeen keskeiset tulokset sekä kuvaukset em. tuotoksista. Tuotoksia sekä projektin tiivistelmä on kuvattu myös erillisissä osaraporteissa ja verkkojulkaisuuksina, jotka on koottu projektin www-julkaisualustalle ”Metsää puilta” (<http://blogit.jamk.fi/metsaapuilta/>).

OPINNÄYTETÖITÄ ERILAISISTA NÄKÖKULMISTA

Em. tuotosten lisäksi hankkeen aikana ja pitkälti hankkeen toimeksiannosta on laadittu useita opinnäytetöitä sekä Jyväskylän että Hämeen ammattikorkeakouluissa. Lisäksi esimerkiksi JAMKissa metsänmittauksen teknisiä haasteita on opiskelijavoimin ratkottu jo 2000-luvun alussa (esim. Bereta 2003). Metsäinventoinnin monitieteellisyydestä kertoo sekin, että opinnäytetöitä ovat tehneet niin insinööriopiskelijat elektroniikan koulutusohjelmassa kuin metsätalousinsinööriopiskelijat metsätalouden koulutusohjelmassa. Toimialojen ja eri alojen ammattilaisten yhteistyö onkin äärimmäisen tärkeää metsäsunnittelun kehittämisessä. Insinöörit keskittyvät työssään pitkälti teknisten haasteiden ratkaisemiseen, laitekehitykseen ja itse mittaamisen toteuttamiseen. Metsätalouden ammattilaisilla näkökulma puolestaan on enemmän soveltava eli mittaustulosten hyödyntämistä, mittauksen kannattavuutta ja vaikuttavuutta painottavaa. Molempia tulokulmia tarvitaan.

HANKERAPORTIN RAKENTEESTA

NUORTEN KUNNOSTAMATTOMIEN METSIEN INVENTOINTI JA METSÄNKÄSITTELYTARPEEN TUNNISTAMISEN MENETELMÄT

Tämä hankeraportti rakentuu kahdesta pääosasta em. tulostavoitteiden mukaisesti. Raportin ensimmäisessä osassa keskitymme toiseen tulostavoitteeseen eli laserkeilausaineistoon perustuvan taimikoiden ja nuorten metsien hoitotarpeen tulkinta-algoritmin kuvaamiseen. Toisin sanoen kuvaamme, miten lentokeilausdatasta voidaan tunnistaa ne kohteet, jotka vaativat maastokoealamittauksia ja/tai joissa on luokiteltua harvennustarvetta. Pohdimme myös miten koealamittauksilla ja lentokeilauksella saadut mittaustulokset täydentävät toisiaan ja miten molempia tietolähteitä voidaan hyödyntää aiempaa tehokkaammin esimerkiksi metsän käsittelytarpeen tunnistamisessa.

Tämän tulostavoitteen saavuttamiseksi projektissa on tehty useita laseraineiston suoratulkintoja sekä maastotarkistuksia käsittelytarpeen tunnistamiseksi projektin Keski-Suomeen sijoittuvilla koealoilla. Käymme tässä osiossa läpi myös pilottikokeiluamme GIS-ympäristössä, jolla hankkeessa kehitettyjen taimikon ja nuoren metsän hoitotarpeen tunnistusalgoritmeja on pilotoitu metsäalan toimijoiden hyödyntämissä paikkatietojärjestelmissä.

ANALYYSI METSIKÖN MITTAUSMENETELMIEN KEHITYKSESTÄ

Raportin toisessa osassa käymme läpi maastomittausmenetelmiin liittyviä näkökohtia. Aluksi luomme katsauksen nykyisin käytössä oleviin taimikon ja nuoren metsän mittausten menetelmiin. Katsauksessa keskitymme kuvaamaan erityisesti koealamittausmenetelmiä eli maastotyötä. Nykyisten menetelmien lisäksi käymme lyhyesti läpi myös kehitteillä olevia metsänmittausmenetelmiä. Arvioimme samalla nykyisten maastomittausmenetelmien käyttökelpoisuutta, luotettavuutta sekä mittaustyön tuottavuutta työvaikeusluokituksen työkaluina nuorissa, kunnostamattomissa metsissä. Edellä mainittujen tilannekatsausten avulla kuvaamme projektimme mittausten menetelmän kehittämistyön lähtökohdat.

Taustakuvausten jälkeen kuvaamme yksityiskohtaisemmin tässä projektissa kehitetyn uuden mittausten menetelmän eli niin kutsutun JokaMiesmenetelmän periaatteet ja käytännön toteutuksen. Kyseessä on digitaalista maastotallennusta sekä älypuhelin- ja GIS-järjestelmiä hyödyntävä tiedonkeruumenetelmä puustotulkintaan ja ennakkoraivauksen työvaikeusluokitukseen, josta on esitelty sekä digitaaliset mittasakset sisältävä am-

mattilaistyökalu metsäalan ammattilaisille että metsänomistajille tarkoitettu helppokäyttöinen, GPS-pohjainen mobiilisovellus omatoimisen metsänhoidon suunnitteluun.

Menetelmien teknisten kuvausten jälkeen vertaamme maastomittausmenetelmien käyttökelpoisuutta, luotettavuutta sekä mittauksen tuottavuutta työvaikeusluokituksen työkaluina Suomen Metsäkeskuksen nykyisin käyttämään ympyräkoealamenetelmään. Tuomme analyysissämme esille eri osapuolien/ käyttäjien – eli mittauksen asiakkaiden – näkökulman näihin kysymyksiin. Mittaustietojen avulla saatavista metsänhoidon tunnusluvusta hyötyvät niin metsänomistaja, metsäammattilainen kuin ”kolmansista osapuolista” esimerkiksi energiapuun ostaja ja korjuutyön tekijä.

Varpu Savolainen & Petteri Weckström

LÄHTEET

Bereta, M. 2003. Using image processing techniques for extracting trees from images. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Hokajärvi, R. 2012. Metsäsuunnitteluprosessin kehittäminen – yksityismetsien suunnittelutoiminta ja historiallinen kehittyminen muutoksen suuntaajana. Dissertations Forestales 145. Finnish Society of Forest Science.

Korhonen, L., Pippuri, I., Packalén, P., Heikkinen, V., Maltamo M. & Heikkilä, J. 2013. Taimikonhoitotarpeen määrittäminen korkean resoluution kaukokartoitusaineistojen avulla. Tutkimuslauseita Metsätieteen aikakauskirja 2/2013, 193.

Vastaranta, M., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyyppä, H. & Hyyppä, J. 2009. Uudistuneet metsien maastomittaustarpeet. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009 Tieteentori, 370–374.



Nuoren ja kunnostamattoman metsän hoitotarpeen
tunnistaminen lentokeilausdatasta

KAUKOKARTOITUSPERUSTEINEN METSIEN INVENTOINTI

Risto Viitala & Raito Paananen

YLEISTÄ METSÄN MITTAUKSESTA JA ARVIOINNISTA

Tietoa metsistä ja metsävaroista tarvitaan sekä puu-, metsikkö-, metsätila- että metsäaluetasoilla. Tiedonhankinnan keskeisenä tavoitteena on selvittää ne puiden ja metsävarojen tunnuksat ja ominaisuudet, joilla on merkitystä metsän käyttöä koskevassa päätöksenteossa ja metsien ja metsäluonnon kehityksen seurannassa.

Tietoa metsistä voidaan kerätä eri tavoilla. Tiedonkeruumenetelmän valinnassa on otettava huomioon mm. tulosten käyttötarkoitus, tarkkuusvaatimukset, käytettävissä olevat mittausresurssit sekä kohdealueen ominaisuudet (Ärölä 2008). Metsän arvioinnin menetelmät perustuvat usein otantaan ja erilaisten mallien käyttöön. Otantainventoinnissa mitattavasta alueesta poimitaan jollakin säännöllä osajoukko mitattavaksi. Esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnissa mitataan joukko systemaattisesti sijoitettuja koealoja, joiden perusteella voidaan tilastollisesti harhattomasti laskea metsän tunnuksia laajemmalle alueelle.

Kuvioittainen arviointi on ollut tärkein menetelmä kerätessä tietoja käytännön metsätalouden suunnittelua varten. Siinä mitattava alue jaetaan kartan ja ilmakuvien tms. avulla puustoltaan, kasvupaikaltaan ja toimenpidetarpeeltaan yhtenäisiin kuvioihin, joilta mitataan ja arvioidaan maastotyönä tarvittavat tunnuksat. Arvioinnin perusteella laaditaan metsänomistajalla metsäsuunnitelma päätöksenteon tueksi.

Operatiivista työkohteiden suunnittelua varten tarvitaan usein tarkempaa maastotyötä, jossa mm. määritetään hakkuukohteen ajourat ja varastopaikat. Vastaavasti taimikonhoitokohteissa arvioidaan hoitotyön toteutusta ja kustannusarviota varten työvaikeusluokka sekä mahdollista Kemera-rahoitusta varten tarvittavat tiedot (poistuman määrä ja koko). Kemera-rahoitusta varten mittaukset tehdään yleensä vasta hoitotyön toteutuksen jälkeen.

MITTAUS- JA ARVIOINTIMENETELMIEN KEHITYKSESTÄ

Puuston maastossa tehtävissä mittauksissa on pitkään käytetty perinteisiä ja hyväksi havaittuja menetelmiä ja välineitä, kuten puuston pohjapinta-alan mittaus relaskoopilla. Sen rinnalla on toki otettu käyttöön maastokelpoisia tiedonkeruulaitteita, joille mitatut tiedot on voitu rekisteröidä heti paikan päällä.

Samoin GPS-laitteistot ovat vakiintuneet käyttöön ja helpottavat maastossa suunnistamista. Viime vuosina on metsämittaukseen tullut käyttöön uutta tekniikkaa, joka avaa uusia mahdollisuuksia mittausten kehittämiseen. Tätä on kuvattu tarkemmin tämän raportin osiossa ”Kehitteillä olevat mittausmenetelmät nuoren metsän kunnostustyömäärien arviointiin”.

Pyrittäessä kustannustehokkaaseen mittaamiseen on maastotyön osuutta pyritty määrätietoisesti vähentämään. Kaukokartoitukseen perustuvia kuvioitaisen arvioinnin korvaavia menetelmiä on viimeisen 10 vuoden aikana kehitetty ja otettu käyttöön lähes kaikissa metsäorganisaatioissa. Parhaaksi menetelmäksi on osoittautunut laserkeilaukseen, numeerisiin ortoilmakuviin ja maastokoealoihin perustuva menetelmä, joka on vakiintunut käyttöön. Sovellettava laserkeilaustekniikka on ns. aluepohjainen menetelmä, jonka perusajatuksen on hyödyntää maastokoealoilta tarkasti määritettyjen puustotunnusten ja laserpisteaineistosta sekä numeeriselta ilmakuvalta irrotettujen piirteiden tilastollista riippuvuutta. Maastokoealat ovat tarkasti paikannettuja kiinteäsäteisiä koealoja, joista mitataan yksittäisten puiden tunnuksat. Menetelmä perustuu vahvaan tilastolliseen riippuvuuteen maastokoealojen ja laserpiirteiden välillä. Tämä riippuvuus mallinnetaan inventointialueittain esim. lähimmän naapurin ennustusmenetelmällä.

Menetelmän tarkkuus riippuu suurelta osin maastokoealojen kattavuudesta ja tarkkuudesta. Menetelmä on osoittautunut toimivan parhaiten hoidetuissa kasvatusmetsissä ja uudistuskypsissä metsissä. Laserinventoinnin tulokset varttuneemmissa puustoissa ovat olleet perinteisen kuvioitaisen arvioinnin luokkaa ja kokonaispuuston osalta parempiakin.

Kaukokartoitustulkinnalla ei ole tähän mennessä saatu riittävän luotettavaa kuvaa taimikoista ja ne on inventoitu pääosin maastotyönä. Taimikoiden osuus inventointialueesta voi olla jopa 25 %, jolloin esim. 100 000 ha metsäalueen inventoinnissa maastotyötä joudutaan tekemään kaikkiaan jopa 25 000 ha, mikä vaatii paljon resursseja.

Oleellisinta taimikoiden tulkinnassa on se, että saadaanko taimikonhoitotarve ennustettua riittävän luotettavasti ilman maastokäyntiä. Uudistusaloilta ja pienistä taimikoista (alle 2 m) ei saada riittävän luotettavaa tietoa laserpohjaisella kaukokartoituksella johtuen taimikon koosta, mutta prosessia tulisi kehittää niin, että saadaan käytännön kannalta oleellisin tieto eli taimikonhoitotarve riittävän luotettavasti ainakin osalle varttuneista taimikoista (2–7 m) ilman maastokäyntiä. Taimikonhoitotarpeen ennustamiseen onkin kehitetty ns. suoratulointimenetelmää, jossa maastokoealoilta määritetyn toimenpidetarpeen ja sen kiireellisyyden ja laseraineiston perusteella on pyritty mallintamaan toimenpidetarvetta.

LASERAINEISTOT METSIEN INVENTOINNISSA

Tutkimukset laserkeilauksen soveltuvuudesta metsän mittaukseen ja inventointiin alkoivat 1970-luvun lopulla. Ensimmäisten tutkimusten aiheita olivat metsän korkeuden profilointi sekä puuston tiheyden, puulajien ja biomassan määrytykset. Noihin aikoihin luotiin perusta lasermittausmenetelmän soveltamiseksi metsäninventoinnissa.

GPS-tekniikan yleistyminen siviilikäytössä 1980-luvun lopulla tarkensi ja edesauttoi lasertekniikan käyttöä myös metsätaloudessa. 1990-luvun alkupuolelta lähtien laserskannereitten kehittyminen ja integrointi GPS:n ja INS:n (inertialaitteiden) kanssa mahdollistivat tarkan 3D-koordinaattien määrytyksen paluukaiulle. Laserpistepilvet muodostavat lentokoneesta ammuttujen laserpulssien paluukaikujen heijastuskohdat. Lähetysten ja paluuhetken välinen aika kerrotaan valon nopeudella ja jaetaan kahdella (edestakainen matka on kaksinkertainen etäisyys) saadaan laskettua säteen kulkema matka, ja kun lentokoneen sijainti (GPS) ja asento (INS) tiedetään, voidaan laskea heijastuskohdan x-, y- ja z-koordinaattiarvot. Yhdestä ammutusta laserpulssista voi heijastua useita paluukaikuja, jotka muodostavat useita pisteitä laserpisteistöön (pistepilvi). Lähetetyn pulssin heijastusten lukumäärä ja heijastusten järjestysluku tallennetaan. Lisäksi tallennetaan jokaisen heijastuksen voimakkuus eli intensiteettiarvo.

Nykyisin kaikki laserkeilaimet tallentavat samanaikaisesti vähintään ensimmäisen ja viimeisen paluukaiun arvot. Toisaalta on laitteita jotka tallentavat näiden lisäksi myös useampia paluukaikuja tai jopa heijastuksen kokonaisuuden eli nk. kokonaisuusmuodon. Tämän lisäksi on yksiköitä, jotka edellä mainitun lisäksi voivat tallentaa myös kohteen säteilyarvot (NIR,R,G,B,PAN-arvot).

Maaston korkeuden eli maanpintamallin määrittäminen oli ensimmäisiä metsätalouden ilmalasersovelluksia. Sen jälkeen tulivat metsikkötason malleista puuston keskikorkeuden ja tilavuuden arviot, sekä yksittäisten puiden ja niiden tunnusten mittaaminen laser- ja ilmakehämäärytyksistä (Hyypä & Inkinen 1999; Brandtberg 1999; Korpela 2004; Maltamo, Mustonen, Hyypä, Pitkänen & Yu 2004; Korpela, Ørka, Maltamo, Tokola & Hyypä 2010; Vauhkonen 2010).

Laserkeilausta on hyödynnetty myös mm. puiden pituuskasvun mittauksissa (Yu, Hyypä, Kaartinen & Maltamo 2004) kasvupaikkojen estimoinnissa (Vehmas, Eerikäinen, Peuhkurinen, Packalén & Maltamo 2008; Holopainen, Vastaranta, Yu, Hyypä, Kaartinen & Hyypä 2009) sekä puuston lehtipinta-alan ja harsuuntumisen arvioinnissa (Solberg, Brunner, Hanssen, Lange, Næsset, Rautiainen & Stenberg 2009; Kantola, Vastaranta, Yu, Lyytikäinen-Saarenmaa, Holopainen, Talvitie, Kaasalainen, Solberg & Hyypä 2010).

Viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana metsien mittaukseen ja inventointiin liittyvä kehitys on ollut paljolti laserkeilausaineiston analysointimenetelmien kehittämistä. Aineistoon liittyviä tutkimustuloksia voidaan ryhmitellä seuraavasti (Hyyppä, Hyyppä, Litkey, Yu, Haggren, Rönholm, Pyysalo, Pitkänen & Maltamo 2014):

- maastomallit (DTM)
- kasvillisuuden korkeusmallit (CHM)
- laserpistepilvien tilastolliset analyysimenetelmät
- yksittäisten puiden analysointi käyttäen kuvankäsittelymenetelmiä
- digitaalisten ilmakuvien yhdistämistä laseraineiston kanssa
- laserheijastuksen intensiteetin ja kokonaisheijastuksen aaltomuodon tutkimusmenetelmät
- laseraineistojen muutoksiin liittyvät menetelmät

Laseraineistojen analysointi alkaa maanpintamallista (DTM, Digital Terrestrial Model). Sen tarkkuus vaikuttaa myös siitä johdettujen muiden tunnusten tarkkuuteen. Näistä tärkein on kasvillisuuden korkeusmalli (CHM, Canopy Height Model). Tätä kutsutaan myös normalisoiduksi korkeusmalliksi, joka saadaan laserpisteaineistosta, kun pintamallista (korkeimmalla olevien pisteiden avulla laskettu DSM, Digital Surface Model) vähennetään vastaavan kohdan maanpintamallin arvot ($DSM - DTM = CHM$).

Pintamallin (DSM) ja maanpintamallin (DTM) avulla lasketun normalisoidun korkeusmallin (nDSM) tai toiselta nimeltään kasvuston korkeusmallin (CHM) tarkkuus on riippuvainen molempien edellä mainittujen mallien tarkkuudesta. Mikäli maanpintamallissa on virheitä, heijastuvat ne suoraan myös kasvuston korkeusmallin tarkkuuteen. Tutkimuksissa on todettu että pintamalli on aina aliarvio ja sitä suurempi mitä harvemmasta aineistosta on kyse. Puuston korkeuden aliarvio on eri tutkimusten mukaan ollut 0.6–1.3 m välillä (Hyyppä & Inkinen 1999; Yu ym. 2004; Maltamo ym. 2004)

Metsikön ja puuston tunnuksia arvioitaessa menetelmät perustuvat joko aluepohjaisiin, lähinnä tilastollisiin menetelmiin tai puukohtaisiin analyyseihin, jotka puolestaan perustuvat kuvankäsittely- ja hahmontunnistusmenetelmiin.

ALUEPOHJAINEN TULKINTA

Tällä hetkellä yleisemmin Suomessa käytetty aluepohjainen tulkinta perustuu joko hilaruuduston (1–16 m ruudun sivun pituus) ruutuihin tai mikrokuvioille osuneiden laserpisteiden analysointiin.

Laserpistepilven piirteet saadaan laskemalla pisteiden sijoittumista eri korkeuksiin. Pisteiden absoluuttisen korkeuden lisäksi lasketaan niiden jakautumista eri suhteellisiin kerroksiin. Lasketaan esimerkiksi kuinka monta pistettä sijaitsee vaikkapa maksimikorkeuden 85 prosenttipistetason yläpuolella ($= 0.85 \times$ alueen korkeimman pisteen arvo). Näitä niin kutsuttuja korkeuspiirteitä lasketaan useita kymmeniä (Næset 2002).

Korkeusarvojen lisäksi heijastusten intensiteetistä voidaan laskea erilaisia tilastollisia tunnuslukuja. Myös pistepilven arvojen muodostamasta ”pinnasta” voidaan laskea erilaisia tunnuksia. Näitä tekstuuria kuvaavia piirteitä käytetään yleisesti toimenpidetarpeiden mallintamisessa.

Tulkinnassa käytettävät mikrokuviot tuotetaan jakamalla tulkinta-alue laserpistetiedon (käytännössä kasvuston korkeusmallin) ja digitaalisten vääräväri-ilmakuvien avulla ominaisuuksiltaan yhtenäisiksi alueiksi (keskimäärin 0,2–0,3 ha). Tässä ns. automaattisessa segmentoinnissa voidaan käyttää erityyppisiä algoritmeja. Pääpaino on laseraineistossa, ilmakuvia käytetään lähinnä eri puulajien erotteluun. Nämä segmentoidut alueet käydään yksitellen läpi ja jokaisen alueen kaikki laserpisteet kootaan yhteen ja niiden muodostamasta pistepilvestä lasketaan joukko erilaisia rakennetta ja tiheyttä kuvaavia piirteitä. Samat piirteet lasketaan myös tulkinta-alueelta maastossa mitattujen referenssikoealojen kohdalla. Alueiden pistepilviä, piirrejoukkoja verrataan toisiinsa erilaisin tilastollisin menetelmin. Yleisin on nk. lähimmän naapurin menetelmä, jossa tarkastelun kohteena olevan alueen (hilaruutu tai mikrokuvio) piirteitä verrataan maastokoealojen kohdalla oleviin vastaaviin piirteisiin. Lopulta niiden koealojen (1–n kpl), joiden piirteitä tarkastelun kohteena olevan alueen piirteet eniten vastaa, puustotiedot kopioidaan tämän alueen puustotiedoiksi painottaen niitä koealoja, joiden piirteet ovat lähimpänä hilaruudun tai mikrokuvioiden piirteitä. (Holopainen, Haapanen, Tuominen & Viitala 2008).

Aluepohjaisessa tilastollisessa lähestymistavassa pintamallien ja pistepilven ominaisuuksia käytetään suoraan metsää kuvaavien tunnusten estimoinnissa. Tyypillisiä tapoja laskea puuttuvat puustotunnukset on laatia jokaiselle tunnukselle erilliset regressiomallit tai käyttää edellä mainittua lähimmän naapurin menetelmänä tunnettua erotteluanalyysiä tai vastaavaa algoritmia.

YKSINPUIN TULKINTA

Yksinpuin tulkinta (ITC) perustuu erilaisiin kuvankäsittelymenetelmiin. Pistejoukkojen ja pintamallien piirteiden avulla tunnistetaan latvuksia, yksittäisiä puita, puuryhmiä tai kokonaisia metsiköitä. Yksittäisten puiden sijainnin sekä latvuksen läpimitan ja korkeuden tunnistamisen jälkeen lasketaan yleisillä malleilla ja tilastollisilla menetelmillä puuston lopulliset tunnuksat.

1980-luvun alussa osoitettiin, että puun latvuksen muodostama poikkileikkauspinta-ala on suoraan verrannollinen puun tilavuuden logaritmiarvoon (Maclean & Krabill 1986). Tilavuutta ennustettaessa tarkkuus kasvoi vielä kun latvusprofiilia laskettaessa käytettiin vain tietyn korkeuden ylittäviä arvoja kokonaisarvojen sijaan. Korkeusjakauman prosenttipisteiden avulla arvioitiin puiden keskipituutta, pohjapinta-alaa ja tilavuutta. Pisteiden suhteellinen jakautuminen eri kerroksiin kuvastaa korkeuden lisäksi myös latvuksen tiheyttä ja läpäisevyyttä. Tutkijat ovat saaneet laadittua hyviä malleja näiden piirteiden ja puustotunnusten välisten korrelaatioiden selittämiseksi. 1990-luvun lopulla puiden keskikorkeutta, pohjapinta-alaa ja biomassaa kuvaavien laseraineistoista laadittujen mallien selitysasteet olivat jopa 0,95 ja vieläkin paremmat (Means, Acker, Fitt, Renslow, Emerson & Hendrix 2000).

PUUSTON BIOMASSA JA ERI PUULAJIT

Laseraineistosta laaditut mallit tuottavat hyviä tuloksia puuston kokonaisuuden ja biomassan arvioinnissa, mutta massan jakautumista eri puulajien osalle onkin jo vaikeampi mallintaa. Latvuksen korkeutta ja muotoa kuvaavat piirteet ovat antaneet lupaavia tuloksia (Vauhkonen 2010). Tutkimuksissa on todettu myös vahva korrelaatio kaksoiskaikujen ensimmäisen ja viimeisen kaiun välisen keskietäisyyden sekä segmentoidun latvuksen leveyden välillä. Myös kohteeseen osuvien pisteiden intensiteettiarvojen avulla voidaan laskea eri puulajeja erottelevia tilastollisia piirteitä kuten esimerkiksi ensimmäiseksi ja viimeiseksi luokiteltujen kaikujen intensiteettiarvojen keskiarvoja ja -hajontoja. Näiden piirteiden avulla voidaan kuuset erottaa männyistä jopa 95 % täsmällisyydellä (Holmgren & Persson 2004).

Yksittäisten puiden tunnistaminen laseraineistosta ja tarkoista ilmakuvista perustuu kaksivaiheiseen otantaan. Ensin määritetään puun sijainti pintamallin paikallisten maksimikohtien avulla. Seuraavassa vaiheessa pisteiden ympärillä oleva latvus segmentoidaan korkeus- ja sävyarvojen perusteella (Hyyppä & Inkinen 1999). Kunkin segmentin kohdalle osuneet pisteet analysoidaan sitten

k-lähimmän naapurin menetelmällä aluepohjaisen analyysin tapaan. Tällaisilla menetelmillä on voitu tunnistaa yli 90 % istutetuista puista (Korpela ym. 2010; Wack, Schardt, Barrucho, Lohr & Oliveira 2003).

LASERAINEISTO JA ILMAKUVAT

Laseraineiston ja tarkkojen ilmakuvien yhdistämisessä on etunsa. Laseraineistosta saadaan puuston korkeustieto, mikä yksittäisestä ilmakuvasta puuttuu. Toisaalta ilmakuvasta voidaan tunnistaa kohteen puulajeja ja esimerkiksi tuhoja. Molemmista aineistoista voidaan tehdä päätelmiä latvuksen koosta ja muodosta. Näiden kahden aineiston yhdistämisellä ja niistä saatavan puiden sijaintitiedon välillä on vahva yhteys (Hyypä, Pyysalo, Hyypä, Haggren & Ruppert 2000). Myös muutosanalyysitulokinnassa näiden kahden aineiston yhdistämisellä on saatu hyviä tuloksia (St-Onge & Achaichia 2001).

INTENSITEETTI- JA AALтомуUOTOLASERTIEDON HYÖDYNTÄMINEN

Intensiteettitiedon hyödyntämisessä esimerkiksi puulajien luokituksessa on vähäistä koska kunnan kalibroitteknikkaa ei ole. Kohteen ominaisheijastukseen eli nk. aaltomuotolaserin tai kokonaisaaltomuodon analysointiin liittyviä tutkimustuloksia on vähän olemassa, mutta sen merkitys tulee lähi vuosina todennäköisesti kasvamaan (Wagner, Ullrich, Melzer, Briese & Kraus 2004).

MUUTOSTEN TULKINTA JA TOIMENPIDETARPEIDEN TUNNISTAMINEN

Oliopohjaisten algoritmien soveltaminen muutosanalyysitulokinnassa on tuottanut lupaavia tuloksia. Kasvun ennustamisen tarkkuus tällä sovelluksella on ollut metsikkötasolla 5 cm ja koealatasolla 10–15 cm luokkaa (Yu ym. 2004; Hyypä ym. 2003). Pinta- ja korkeusmallien soveltaminen antaa jo nyt hyviä tuloksia metsien inventoinnissa. Muutosten tunnistamiseksi intensiteettitiedon tai ominaisheijastuksen (kokonaisheijastuksen) yhdistäminen laseraineiston ja ilmakuvien sekä maanpäällisen laserkeilaustiedon kanssa ovat juuri nyt tutkimuksen kohteina. Muutoksen tunnistamiseen liittyy aineiston rakenteen tunnistaminen. Tämä puolestaan auttaa tekemään oikeita päätelmiä esimerkiksi metsien toimenpidetarpeen määrittämisessä.

METSÄVARATIEDON PÄIVITYKSESTÄ JA HYÖDYNTÄMISESTÄ

Kerättyä metsävaratietoa päivitetään metsäorganisaatioissa eri tietolähteistä saatavalla tiedolla. Näitä tietolähteitä ovat operatiivisen työn yhteydessä kerättävä tieto tai työn jälkeen tehtävät mittaukset. Lisäksi päivitystä voidaan tehdä laskennallisesti mm. kasvumalleilla ja puuston harvennusmalleilla. Suomen metsäkeskuksessa metsävaratiedon ajantasaistuksen tietolähteinä käytetään metsälain mukaisia hakkuiden metsänkäyttöilmoituksia sekä Kemera-lain mukaisia rahoitushakemuksia, metsänomistajilta ja toimijoilta saatavaa päivitystietoa, muilta organisaatioilta saatavaa päivitystietoa (mm. kiinteistörajojen muutokset, uudet luonnonsuojelualueet) sekä metsäkeskuksen oman toiminnan yhteydessä maastotarkastuksista saatavaa tietoa. Lisäksi apuna käytetään tuoreinta saatavilla olevaa kaukokartoitusaineistoa (ilmakuvat tms.).

Metsäkeskuksissa on otettu loppuvuodesta 2012 alkaen käyttöön Internetissä toimiva Metsään.fi-asiointipalvelu. Metsään.fi-palvelu tarjoaa metsänomistajalle ajantasaisen metsävaratiedon hänen omista metsistään, mahdollisuuden asioida metsäalan palvelutarjoajien kanssa sekä mahdollisuuden lähettää myös päivitystietoja metsässä tehdyistä töistä metsäkeskukseen. Palveluun kirjautuneet metsäalan toimijat voivat saada palvelun kautta metsätilojen metsätietoja käyttöönsä, mikäli metsänomistaja on antanut siihen suostumuksensa.

Tällä hetkellä palvelu toimii Internet-selaimella eikä siihen ole integroitu vielä metsässä tapahtuvia mittauksia. Mikäli metsänomistajalla olisi käytössään helppokäyttöisiä menetelmiä ja -välineitä metsässä tapahtuvaan puuston mittaukseen ja tiedonvälitykseen, voitaisiin metsissä tehdyistä töistä ja metsävaroista saada tarkempaa päivitystietoa eri organisaatioiden käyttöön.

METSÄTIEDON STANDARDOINTI

Maa- ja metsätalousministeriön käynnistämällä ja ohjaamalla standardointityöllä edistetään metsäalan tietojärjestelmien yhteensopivuutta. Standardointi on toteutettu laajapohjaisena organisaatioiden välisenä yhteistyönä. Työssä on tuotettu metsäalan toimijoiden käyttöön XML-skeemamäärittelyjä. Standardit helpottavat organisaatioiden yhteistyötä sekä tehostavat metsätalouden toimintaa. Tällä hetkellä on valmiina ja käytössä standardit mm. kuvio-, sekä hilamuotoisen metsävaratiedon siirtoon, puu- ja metsänhoitotöiden kaupankäynnin standardikokonaisuus, tarkastustietojen standardi

sekä kuviomuotoisen metsävaratietojen päivityssanomien. Puunkorjuuseen ja metsänhoitotöiden teettämiseen liittyvät standardit ovat viimeistelyä vaille valmiit (Jyrkilä 2013).

Metsätietostandardiin pohjautuvia sovelluksia on tällä hetkellä laajasti käytössä eri metsäalan toimijoiden välisessä tiedonsiirrossa.

LÄHTEET

Brandtberg, T. 1999, Automatic individual tree-based analysis of high spatial resolution remotely sensed data. PhD thesis, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 118, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 47 pp.

Holmgren, J. & Persson, Å. 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 90, pp. 415–423.

Holopainen, M., Haapanen, R., Tuominen S. & Viitala, R. 2008. Performance of airborne laser scanning- and aerial photograph-based statistical and textural features in forest variable estimation. *Proceedings of SilviLaser 2008: 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory*, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, September 17-19, 2008., 105–112.

Holopainen, M., Vastaranta, M., Yu, X., Hyyppä, J., Kaartinen, H., Hyyppä, H. 2009. Forest site type classification using single tree level Airborne Laser Scanning. In Popescu, S., Nelson, R., Zhao, K. & Neuenschwander, A. (Eds.) *Silvilaser 2009 proceedings*, 72–80.

Hyyppä, J., Hyyppä, H., Litkey, P., Yu, X., Haggren H., Rönnholm, P., Pyysalo, U., Pitkänen, J., Maltamo, M. 2014. Algorithms And Methods Of Airborne Laser Scanning For Forest Measurements, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, 8/W2, 82–89.

Hyyppä, J. & Inkinen, M. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *The Photogrammetric Journal of Finland* 16, 27–42

Hyyppä, J., Yu, X., Rönnholm, P., Kaartinen, H. Hyyppä, H. 2003. Factors affecting object-oriented forest growth estimates obtained using laser scanning, *The Photogrammetric Journal of Finland* 18, 16–31.

Hyypä, J., Pyysalo, U., Hyypä, H., Haggren, H. & Ruppert, G. 2000. Accuracy of laser scanning for DTM generation in forested areas. *Proceedings of SPIE*. 4035, 119–130.

Kantola, T., Vastaranta, M., Yu, X., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Holopainen, M., Talvitie, M., Kaasalainen, S., Solberg, S., Hyypä, J. 2010. Classification of defoliated trees using tree-level airborne laser scanning data combined with aerial images. *Remote Sensing* 2, 2665–2679.

Jyrkilä, J. 2013. Metsätiedon standardointi. Esitelmä paikkatietomarkkinoilla 6.11.2013. Moniste.

Korpela, I. 2004. Individual tree measurements by means of digital aerial photogrammetry. *Silva Fennica. Monographs* 3., 93. Doctoral thesis.

Korpela, I., Ørka, H. O., Maltamo, M., Tokola, T., Hyypä, J. 2010. Tree species classification using airborne LiDAR - effects of stand and tree parameters, downsizing of training set, intensity normalization and sensor type. *Silva Fennica* 44, 319–339.

Maclean, G., Krabill, W. 1986. Gross-merchantable timber volume estimation using an airborne lidar system. *Canadian Journal of Remote Sensing* 12, 7–18.

Maltamo, M., Mustonen, K., Hyypä, J., Pitkänen, J., & Yu, X. 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in boreal nature reserve. *Canadian Journal of Forest Research* 34, 1791–1801.

Means, J.E., Acker, S.A., Fitt, B.J., Renslow, M., Emerson, L. & Hendrix, C.J. 2000, Predicting Forest Stand Characteristics with Airborne Scanning Lidar. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66, No. 11, November 2000, 1367–1371.

Næsset, E. 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment* 80, 88–99.

Solberg, S., Brunner, A., Hanssen, K.H., Lange, H., Næsset, E., Rautiainen, M., Stenberg, P. 2009. Mapping LAI in a Norway spruce forest using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 113, 2317–2327.

St-Onge, B. & Achaichia, N. 2001. Measuring forest canopy height using a combination of lidar and aerial photography data. Proceedings of the Workshop on land surface mapping and characterization using laser altimetry, Annapolis, Maryland, USA, 22-24 Oct, 2001, 7 p.

Vauhkonen, J. 2010. Estimating single-tree attributes by airborne laser scanning: methods based on computational geometry on the 3-D point data. Dissertations Forestales 104. University of Eastern Finland, School of Forest Sciences.

Vehmas, M., Eerikäinen, K., Peuhkurinen, J., Packalén, P. & Maltamo, M. 2008. Airborne laser scanning for the identification of boreal forest site types. In Hill, R., Rossette, J. and Suárez, J. 2008. *Silvilaser 2008 proceedings*, 58–65.

Wack, R., Schardt, Lohr, U., Barrucho, L., Oliveira, T. 2003. Forest inventory for Eucalyptus plantations based on airborne laser scanner data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34, 3/ W13, 40–46.

Wagner, W., Ullrich, A., Melzer, T., Briese, C., Kraus, K. 2004. From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2004, 35, part B3, 201–206.

Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Maltamo, M. 2004. Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 90, 451–462

Ärölä, E. 2008. Metsävarojen mittaus ja arviointi. Teoksessa Tapion taskukirja, 25. uudistettu painos. Toim. Rantala, S. Metsäkustannus Oy.

NUORTEN KUNNOSTAMATTOMIEN METSIEN INVENTOINTI JA METSÄNKÄSITTELYTARPEEN TUNNISTAMINEN

Kalevi Pietikäinen & Risto Viitala

NYKYTILANNE

Metsätaloudessa on siirrytty kaukokartoitusperusteiseen metsien inventointiin. Kuviotietoja päivitetään laserkeilauksella, ilmakuvilla ja metsästä mitatuilla koealatiedoilla. Tähän tilanteeseen johtanut vuosikymmeniä kestänyt kehitys on monen eri metsien inventointivaiheiden tulos. Näiksi vaiheiksi voidaan luetella

- valtakunnanmetsien inventointi
- metsää ja puustoa kuvaavat mallit
- metsien kehitystä simuloivat ja toimenpiteiden valintaa helpottavat ohjelmistot
- kaukokartoitustekniikan kehittyminen ja erotuskyvyn parantuminen
- monivaiheisen otannan ja analysointiohjelmien kehittyminen
- paikkatiedon hallinnan ja -siirron standardointi
- inventointitiedon käsittely- ja analysointialgoritmien kehittäminen

Menetelmien nopean kehittymisen on mahdollistanut ennen kaikkea nopea tietotekninen kehitys – suorituskyky on kaksinkertaistunut joka toinen vuosi.

Myös Maa- ja metsätalousministeriö haluaa tehostaa metsäsuunnittelua. Kymmenessä vuodessa metsät laserkeilataan kerran ja ilmakuvataan kahdesti. Maanmittauslaitos puolestaan laserkeilauttaa suuria alueita vuosittain tarkemman maanpintamallin (M2) aikaan saamiseksi. Tämä kaikki tapahtuu valtion varoin, ja aineisto on siten yleisesti kansalaisten ja eri metsätaloustoimijoiden vapaasti käytettävissä.

Tähän mennessä nuorten metsien ja varsinkaan taimikoiden osalta laserkeilausaineistojen analyysit eivät ole antaneet kovin hyviä tuloksia. Siksi taimikoiden ja nuorten metsien kohdalla tarvitaan kohdennettua maastoinventointia. Vuotuinen yksityismetsien inventointitavoite on 1.5 miljoonaa hehtaaria.

Taimikoiden ja nuorten metsien osuus on siitä noin neljännes. Kohdennetun maastoinventoinnin tarve on siis yli 300 000 ha. Jos yhden henkilön maastotyötavoite on noin 5000 hehtaaria vuodessa, niin miestyövuosissa mitattuna kohdennettu maastoinventoinnin tarve on noin 60 miestyövuotta, mikä tarkoittaa 1.5 miljoonan euron kustannusta.

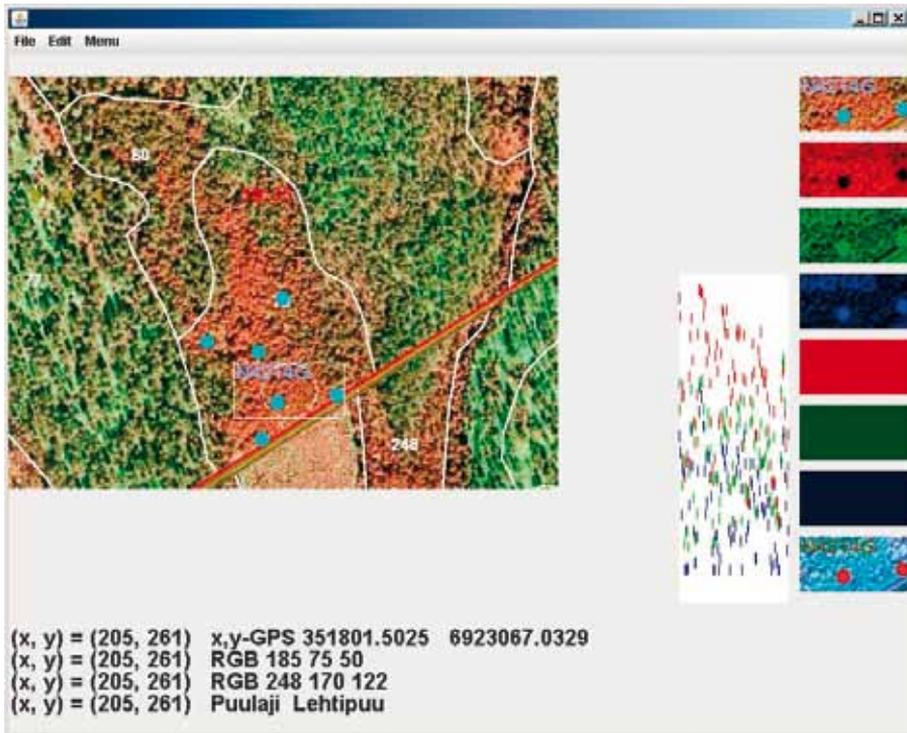
Menetelmä, jonka avulla voitaisiin välttää edes joka kolmas maastotarkistus, säästettäisiin valtakunnan tasolla yli puolimiljoonaa euroa vuosittain.

ERILAISTEN INVENTOINTIMENETELMIEN YHDISTÄMINEN

Eri lähteistä saatujen tietojen yhdistäminen tuottaa säästöjä. Metsäsuunnittelussa on perinteisesti yhdistetty ilmakuvatietoa, lähinnä väärävärikuvatietoa, kuvioittaiseen maastoinventointitietoon.

Puulaji voidaan tunnistaa väärävärikuvasta. Ilmakuvan sävyarvot voidaan liittää keilausaineiston pistepilven pisteisiin. Kohteen sävyarvojen liittäminen pisteaineiston korkeus- ja tiheystietoon täsmentää puulajien tunnistamista. Lehdellisenä aikana kuvatuissa väärävärikuvissa lehtipuut näkyvät punertavina ja havupuut vihreinä. Mänty on hieman vaaleamman vihreä ja kuusi tummemman vihreä. Puiden varjot näkyvät hyvin tumman vihreän tai mustan sävyisinä riippuen pintakasvillisuuden väristä. Värit ja värisävyt ovat riippuvaisia valaistusolosuhteista. Puulajin tunnistus väriin perustuen tulee tehdä suhteessa kuvaushetken sävyjakaumiin.

Alla olevasta kuvasta on leikattu 100 x 50 pikselin osakuva. Kuvasta on myös x-suunnassa poimittu 100 pikselin jono, joka on tulostettu RGB -arvojen mukaisesti skaalattuna arvovälille 0–255 (osakuva valkoisella pohjalla).



Kuva 1. Lapinmäen kuvion lehtipuun tunnistaminen vääräväri-ilmakuvasta (Kuva: Kalevi Pietikäinen)

1980-luvun lopulta lähtien on Metsäntutkimuslaitos yhdistänyt satelliittikuvia ja valtakunnan metsien inventointitietoa monilähdeaineistoksi. Tässä aineistossa Suomen metsien puustotiedot on arvioitu 25 x 25 m² kokoisissa ruuduissa. K-lähimmän naapurin (kNN) -menetelmällä maastossa mitattu tieto on monistettu satelliittikuvapiirteiden avulla kattamaan kaikki koealojen ulkopuolisetkin alueet.

Laseraineistoa sekä ilmakuvia analysoidaan joko aluepohjaisesti (ABA – Areal Basic Approach) tai yksinpuintulkintana (ITD – Individual Tree Detection). Aluepohjaisessa lähestymistavassa inventoitava alue jaetaan mekaanisesti kalaverkon tapaan hilastoksi, jossa yhden ruudun koko on esimerkiksi 16 x 16 m². Toinen aluepohjainen tapa on jakaa alueet ilmakuvan sävyarvojen ja laseraineiston korkeus- ja tiheystietojen perusteella mahdollisimman yhtenäisiksi osa-alueiksi – mikrokuvioiksi. Nämä pienet kuviot ovat kooltaan keskimäärin vain 0,3 ha laajoja.

Aluepohjaisessa menetelmässä ruutujen tai mikrokuvioiden kohdalta lasketaan laseraineistosta ja ilmakuvien sävyistä joukko piirteitä. Samat piirteet lasketaan myös maastokoealojen kohdalta. Koealan puustoa selittävät mallit

lasketaan tämän jälkeen näiden piirteiden avulla. Esimerkiksi kNN- tai regressiomenetelmillä valitaan parhaat piirteet kuvaamaan koealojen puustotunnuksia. Lopuksi näin saatujen mallien avulla lasketaan puustotunnukset myös koealojen välisille hilaruuduille tai mikrokuvioille.

Hilaruudut tai mikrokuviot toimivat suunnitelmakuvioina joita yhdistelemällä muodostetaan varsinaisia toimenpidekuvioita. Lopulta estimoitujen puustotietojen avulla voidaan laskea laajempia toteutus- tai suunnitelmakuvioita.

Yksinpuintulkinnassa aineistosta pyritään tunnistamaan yksittäiset puut tai arvioimaan kohteen runkolukusarjat. Runkolukusarjojen avulla saadaan selvitettyä kohteen puiden jakautuminen eri läpimitta- ja pituusluokkiin. Näiden tietojen avulla puustosta voidaan runkomallien avulla laskea kuviokohtaiset puutavaralajijakaumat. Jakaumien avulla voidaan edelleen selvittää myös puuston arvo. Yksittäisiä puita voidaan myös kasvattaa puukohtaisilla kasvumalleilla, jolloin päästään käsiksi myös kohteiden arvokasvuun ja kuvioiden arvon kehitykseen.

NUOREN METSÄN HOITOTARPEEN TUNNISTAMINEN LENTOKEILAUSAINEISTOSTA

Metsien inventoinnissa ilmalaserkeilausaineistosta heikoimmat analyysitulokset ovat nuorten metsien ja taimikoiden kohdalla. Laajoista tutkimuksista huolimatta ei ole löytynyt niitä piirteitä, joiden avulla laseraineistosta tai ilmakuviilta voitaisiin luotettavasti osoittaa hoitoa tarvitsevat taimikot ja nuoret metsät.

Nykyiset tilastolliset analyysimenetelmät ovat keskiarvoistavia menetelmiä, joten niiden avulla kiireelliset kohteet, siis aineiston ääriarvot, jäävät usein löytymättä. Ja koska kuvioita käsitellään esimerkiksi aluepohjaisissa analyysissä yhtenäisinä kokonaisuuksina, niin samasta syystä kuvioiden sisäinen vaihtelu jää huomiotta. Siirryttäessä isompiin toteutuskuvioihin tämä ongelma tulee tiedostaa. Uudistettujen metsäkuvioiden sisältä tulisi tunnistaa niiden sisäinen vaihtelu ja sen avulla täsmentää esimerkiksi taimikonhoitoa vaativat osat erikseen. Näin toimien kuvioiden sisäisen vaihtelun tunnistaminen johtaisi pienempiin toteutuskuvioihin, kuin mitä niiden uudistamisalat tai kasvatusvaiheen kuviot ovat.

LENTOKEILAUSDATAN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTIA

Laseraineistosta estimoidut metsikkötason ja yksittäisten puiden tunnukset perustuvat yleisesti erilaisista korkeusmalleista estimoituihin piirteisiin. Keskeisin niistä on digitaalinen maastomalli (DTM). Ennen DTM:n laskemista

tulee laserpisteaineisto luokitella maa- ja ei-maapisteisiin. Fotogrammetrit ovat kehittäneet erilaisia menetelmiä pisteiden luokittelulle ja DTM:n laskemiseksi. Maankorkeusmalleja on perinteisesti estimoitu ilmakuvilta (RMSE 0,56 m), mutta nykyisin mallien estimointi perustuu laseraineistoon (RMSE 0,2 m).

Päätelyssä käytetään erilaisia menetelmiä mm. rekursiivista ennustemenetelmää, joka mittaa seuraavan pisteen pystysuoraa etäisyyttä ja vertaasitä DTM-odotusarvoon. Tämä on puolestaan laskettu aikaisempien kaikuja perusteella.

Laserkeilaukseen pohjautuvien mallien tarkkuudeksi tasaisilla alueilla on saatu +/- 20 cm. Ilkka Korpelan ja Esko Välimäen Maanmittaus 82:2 (2007) -julkaisun mukaan laserpistepilvestä laskettu DTM näyttää tuottavan taimikoihin hieman todellisen maanpinnan yläpuolella olevia arvoja, kun taas puustoisissa kohteissa DTM oli 0,14 m todellisen maanpinnan alapuolella. Noin 0,2 m ero saattaa selittyä taimikoiden paikoitellen rehevällä pohjakasvillisuudella. Korkeusmallin (DSM) tarkkuus metsämaalla on noin 0,3–0,5 m, mikä on riittävä varttuneiden puustojen mittaukseen, mutta pienten taimikoiden osalta korkeusmallin näin suuri vaihtelu voi heikentää taimikoiden pituutta ja tiheyttä tutkivien analyysien tuloksia.

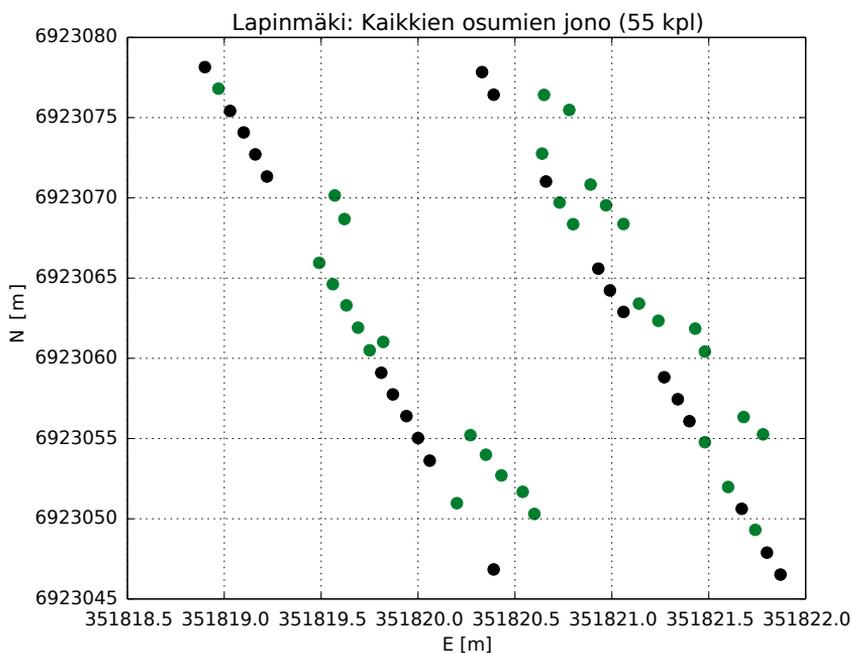
LIDAR-AINEISTON TULKINTA PROJEKTIN KOEALUEELLA LAPINMÄESSÄ

Lentokoneesta tapahtuva metsän keilaus tehdään 2 km:n korkeudesta keilaimen peiliin tehdessä -15-+15 asteen kulmassa keilausta maanpinnasta ja kasvustosta. Projektin koealueella, Lapinmäen LIDAR (Light Detection and Ranging) -keilauksessa 40 m x 40 m ruudussa (1600 m²) oli kaikkiaan 1284 osumaa, joista maaosumia (classification = 2) oli 249. Maa-osumia kaikista osumista oli ennen harvennusta noin 19,4 %. Kaikkia osumia oli siis $1284 \text{ kpl} / 1600 \text{ m}^2 = 0,8 \text{ kpl neliöllä}$.

Pinta-alaperusteisen pisteaineiston käsittelyä voidaan tehdä myös etäisyysperusteisena. LIDAR -keilaus tapahtuu peräkkäisinä pulsseina, jotka muodostavat osumajonoja noin 1 tai 2 metrin välein toisistaan. Tyhjää tilaa syntyy osumajonojen väliin, mistä syystä täydellistä kaiken kattavaa mittausta ei voida tehdä kyseisellä keilaustiheydellä. Kuvassa 2 maaosumat ovat väriltään mustia ja kasvusto-osumat ovat vihreitä. Jonossa osumia metrille on noin 1,2 kpl. LIDAR -alueilla esiintyy myös kaksinkertaista osuma-tiheyttä. Kaksinkertainen osumatiheys johtuu kahden eri keilaustiedoston yhdistämisestä ja leikkaamisesta.

SIIRTUMIEN HAVAINNOINTI, HALLINTA JA KORJAUS

Maanpinnan luokittelussa sekä paikkatiedon ja korkeuden määrittämisessä syntyy siirtymiä, jotka tulee voida eliminoida tai ainakin syntynyt virhe voidaan huomioida. Maanpintamallit ovat haasteellisia tiheissä mäkisissä maastoissa. LIDAR -keilauksen paikkatietoon syntyy siirtymiä, joiden haitat ilmenevät erityisesti tutkittaessa pieniä koealoja. Puiden LIDAR -osumat siirtyvät osittain pois koealueelta. Jos siirtymien suuruus voidaan arvioida, virheet voidaan osittain eliminoida. Suuremmilla tasaisilla alueilla siirtymävirheet eliminoiduvat. Tuuli, lentosuunta ja keilauskulma aiheuttavat siirtymiä maapisteen ja kasvuston pisteiden paikkatietoon. Koealueen keilauskohdassa keilauskulma p.angle vaihteli 8–21 astetta. Havaittujen siirtymien suuruus (0–2 m) riippuu kasvuston (vihreä) korkeudesta.



Kuva 2. Siirtymien havainnointi Lapinmäen kuvion LIDAR -keilauksessa.

Kuvasta nähdään, että lentokoneen lentosuunta on ollut lännestä itään ja keilauksen suunta pohjoisesta etelään.

Koepuiden sektorisiirtymien korjaus voidaan tehdä napakoordinaattimuunnoksena mm. seuraavilla kaavoilla. Alla olevassa esimerkissä koealan

säde on 9,77 m keskipisteen sijainti koordinaatistossa $x = 452534.15$ ja $y = 6889613.35$. Esimerkissä on tehty 12-asteen korjaus mitattuun tietoon ympyräalan keskipisteenä. Sekä koepuiden paikkaa, että LIDAR -osumia voidaan siirtää suhteessa toisiinsa halutussa suunnassa.

$$x\text{-koordinaatti} = \$Privinro * \text{COS}(\text{RADIOANIT}(-\$Nrivinro+90))$$

$$y\text{-koordinaatti} = \$Privinro * \text{SIN}(\text{RADIOANIT}(-\$Nrivinro+90))$$

$$r.x = (452534.15 + r.ETAISYYS * \cos((-r.suunta+90.-12.)*(pi/180))/100.) + x\text{Siirtymä}$$

$$r.y = (6889613.35 + r.ETAISYYS * \sin((-r.suunta+90.-12.)*(pi/180))/100.) + y\text{Siirtymä}$$

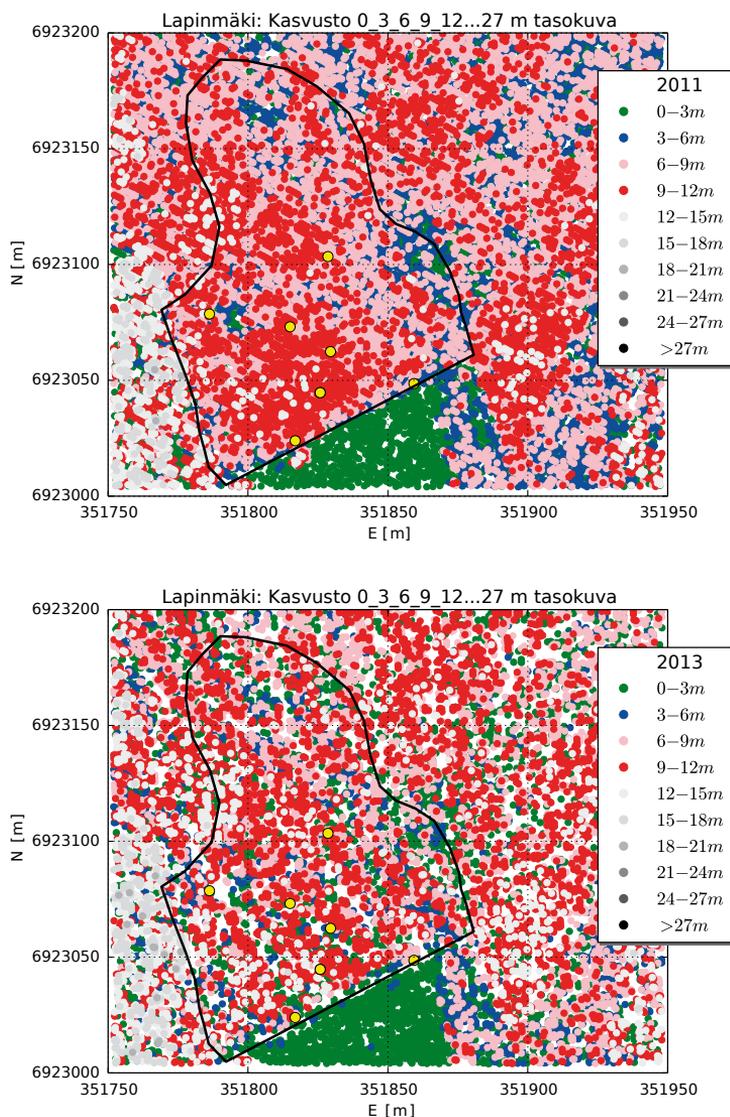
NUOREN METSÄN HOITOTARPEEN TUNNISTUS SUORATULKINTAMENETELMÄLLÄ

Tämän projektin keskeisenä tavoitteena on ollut erilaisten metsänmittaus ja arviointimenetelmien testaaminen juuri nuorten metsien hoitotarpeen tunnistamiseksi.



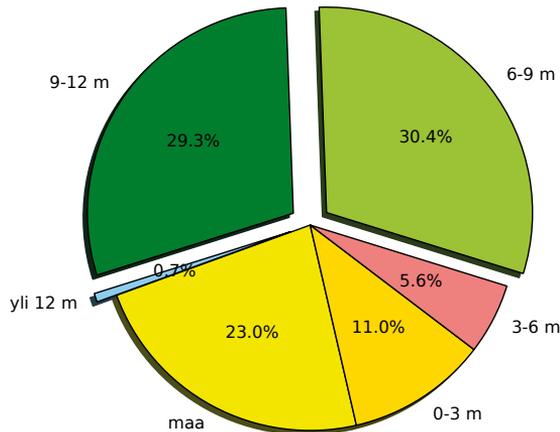
Kuva 3. Yleisnäkymä nuoresta, harventamattomasta metsästä (Kuva: Tapani Sauranen)

Maastomittausten testaamisen ohella on kehitetty laseraineistosta tapahtuvaa automaattista tunnistusalgoritmia. Lukuisten tilastollisten ja fysikaalisten laskentakokeilujen tuloksena on syntynyt Kalevi Pietikäisen luoma suorasaantitietoon perustuva laskenta-algoritmi, joka ensimmäisessä vaiheessa laskee normalisoidun korkeusarvon jokaiselle heijastuneelle pisteelle (Kuva 4).

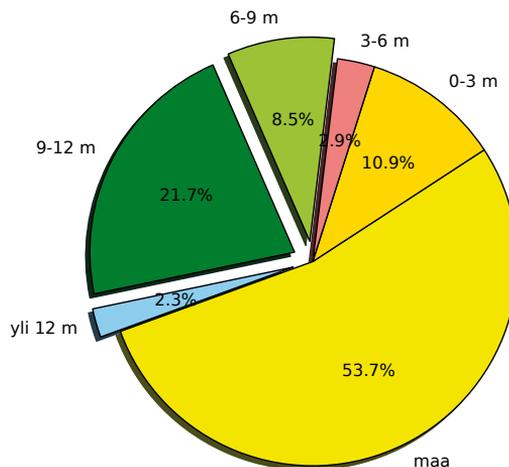


Kuva 4. Lapinmäen kuvion 79 laserpisteiden normalisoidut arvot ja niiden visualisointi ennen hakkuuta 2011 ja hakkuun jälkeen 2013.

Lapinmäki maa, 0_3_6_9_12_ Osumien prosenttiosuudet

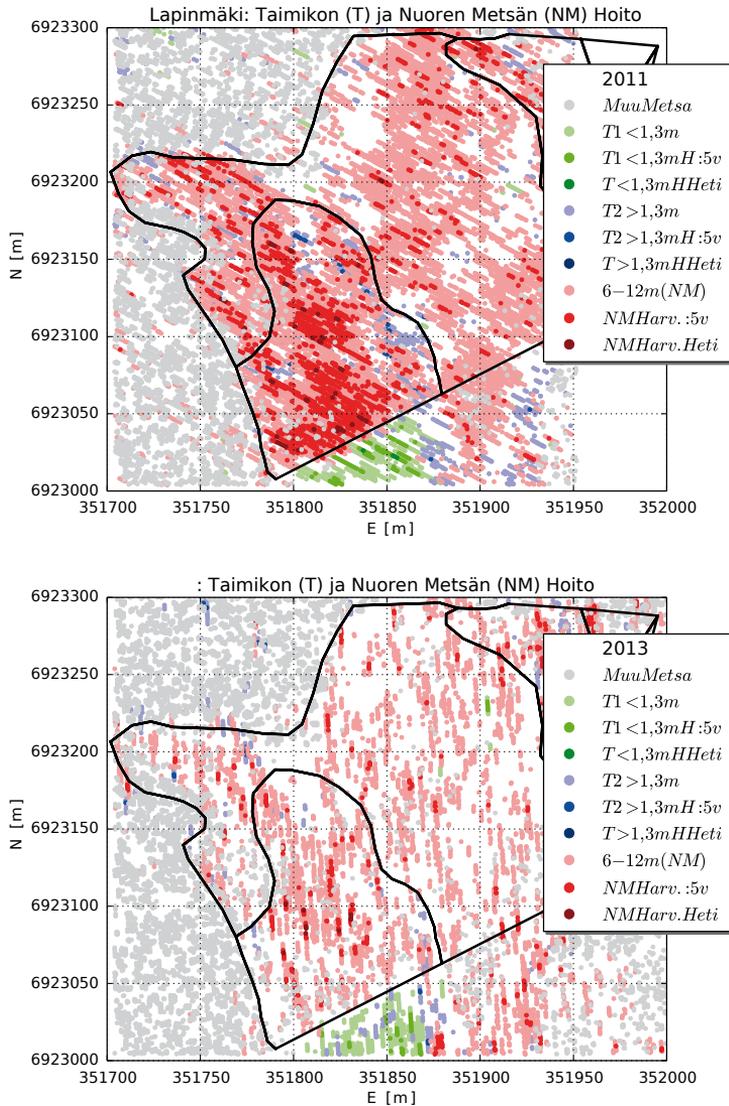


Lapinmäki maa, 0_3_6_9_12_ Osumien prosenttiosuudet



Kuva 5. Lapinmäen kuvion 79:n sisältä 40 m x 40 m ruudussa osumien prosenttiosuudet eri tasoille ennen hakkuuta 2011 ja hakkuun jälkeen 2013.

Seuraavassa vaiheessa lasketaan ennuste jokaiselle heijastuneelle pisteelle sen kehitysluokasta (T1-, T2- tai O2-lk), hoitotarpeesta ja kiireellisyysasteesta (Kuva 6.). Kehitysluokat on määritetty pituuden perusteella siten, että T1-kehitysluokkaan kuuluvat liukuvan keskiarvon perusteella 0.3–1.3 metrin korkeudella olevat sekä T2 vastaavasti 1.3–6 metriä korkeat kohteet. O2-kehitysluokkaan on vastaavasti luettu 6–12 metriä korkeat pisteistöt.

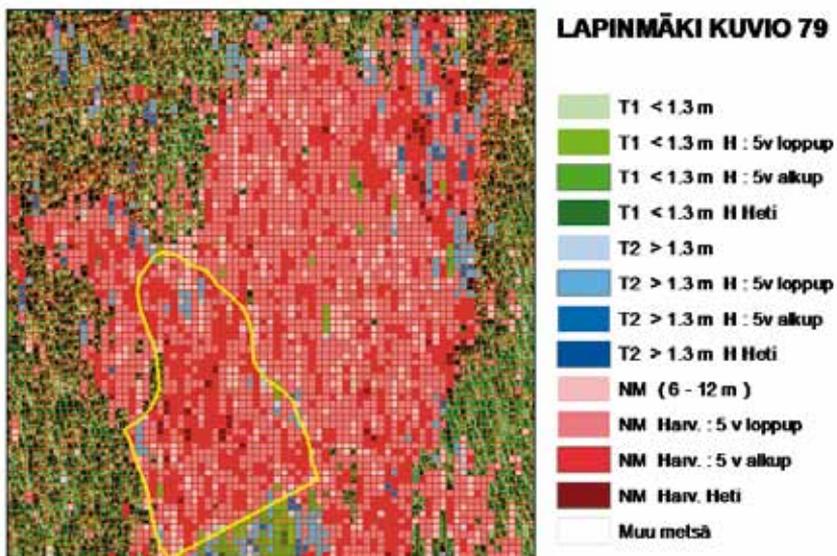


Kuva 6. Lapinmäen kuvion 79 laserpisteiden kehitysluokka, hoitotarve ja -kiireellisyys ennen ja jälkeen hakkuun (2011–2013)

Rekursiivinen menetelmä luokittelee ensin liukuvien keskiarvojen perusteella pisteet eri kehitys- ja hoitotarveluokkiin sekä kiireellisyysyhdistelmiin. Tämän jälkeen ohjelma laskee luokiteltujen pisteiden avulla hoitotarpeen 4 x 4 m² kokoisille hilaruuduille.

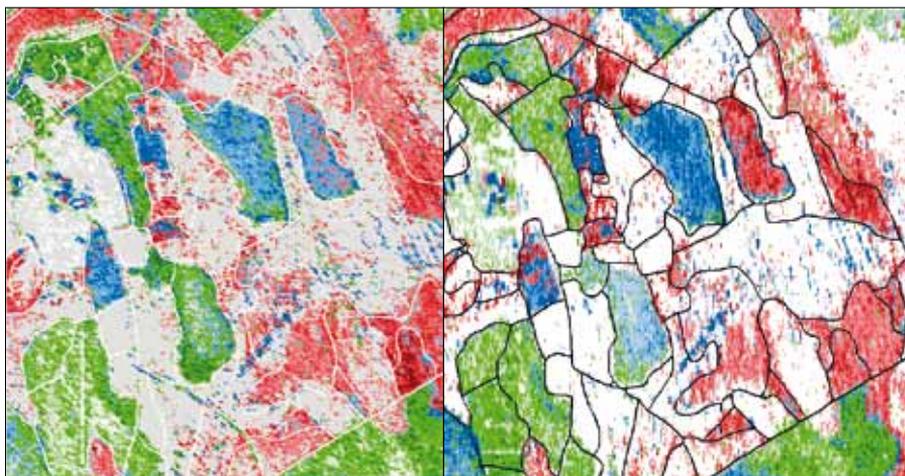
Laskenta-algoritmi on kuvattu tarkemmin tämän raportin luvussa ”Taimikon tai nuoren metsän hoitotarpeen tunnistaminen paikkatietoon sidottuna”.

Ohjelma tallentaa tulkintatuloksen LAS -formaattissa (The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS) -järjestön määrittelemä classification (c) -. muuttujan arvoalueelle 13–31. Tieto tallennetaan myös ascii-formaatissa. Binäärinen las-tieto voidaan lukea suoraan esimerkiksi ArcGIS-ohjelman Las-datasettiin. Datasetistä luokitustieto on luettavissa ja visualisoitavissa esim. ArcMap- ja ArcScene-ohjelmiin (Kuva 7.).



Kuva 7. Lapinmäen kuvion 79 kehitysluokka, hoitotarve ja -kiireellisyys 4x4 m² ruuduissa ArcGIS-ohjelmalla tulostettu LAS-datasetistä

Ohessa kokonaisen tilan tulkintatulokset (Kuvat 8. ja 9.).



Kuva 8. Lapinmäen luokitettu alue voimassa oleville metsätalouskuvioille 2011 ja 2013.



Kuva 9. Lapinmäen luokitettu alue voimassa oleville metsätalouskuvioille ja ilmakehän luokittlemattomille alueille 2011 ja 2013.

TAIMIKON TAI NUOREN METSÄN HOITOTARPEEN TUNNISTAMINEN PAIKKATIETOON SIDOTTUNA

Kalevi Pietikäinen

MAANPINTAMALLIN, KASVILLISUUDEN JA HOITOTARPEEN ALGORITMIN PERUSMÄÄRITYKSIÄ

Tämä raportti liittyy ”Metsävaramittaus kunnostamattomissa nuorissa metsissä”-projektiin, jossa haluttiin kehittää algoritmeja taimikoiden ja nuorien metsien hoitokohteiden tunnistamiseen lentokonekeilauksen LIDAR-datasta (Light Detection and Ranging). Muut kaupalliset vastaavat ohjelmistot perustuvat mm. piirteiden laskentaan tai laskevat keskiarvoja pinta-alaperusteisesti. Tällöin taimikoiden tai nuorien metsien hoitotarpeita tai hoitotarpeen kiireellisyttä ei voida tunnistaa. Keskiarvojen laskeminen esimerkiksi 4 m x 4 m ruuduille estää metsän kehitysluokkien tunnistamisen ja kadottaa herkkyyden määrittää hoitotarpeita tai niiden kiireellisyttä. Nämä algoritmit kuitenkin toimivat varttuneiden metsien inventoinnissa.

Kasvuston korkeuden määrittämiseen tulee määrittää ensin maanpinnan korkeus. Jos keilausaineisto on luokiteltu, maanpinnan ja kasvuston korkeuden määrittäminen onnistuu hyvin tasaisessa maastossa. Mäet ja leikkaukset eri keilauksista voivat tuottaa pieniä ongelmia. Luokitellussa aineistossa kasvuston korkeus on voitu laskea jo valmiiksi. Tässä ohjelmistossa on käytetty keilausdatan peräkkäisten osuimien käsittelyä eli paikkatietoon sidotut keilausosumat käsitellään peräkkäin. Osumajonoista muodostetaan totuusarvoihin perustuvia lausekkeita, joissa poissulkevuutta hyödynnetään. Algoritmeissa lasketaan jatkuvaa totuusarvojen summaa 0–10 paikkatietoon sidottuna.

```
with open(tiedoston_nimi) as fin:
```

```
    # with open('TXT/Lapinmaki Kesa13 144 ha V1.txt') as fin:
```

```
    for line in fin:
```

```
        p = LaserPoint(line)
```

```
        points.append(p)
```

```
joukko = [jk for jk in points]
```

```
# Laske jatkuvaa summaa 0 – 10 totuusarvojen mukaan 0 epätosi ja 1 tosi
```

```
tiheys10Tali = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0] # 10 kpl T on taimikko alle 1,3 m
```

```
tiheys10Tyli = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0] # 10 kpl T on taimikko yli 1,3 m
```

```
tiheys10NM = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0] # 10 kpl NM on nuorimetsä
tiheys10Myli = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0] # 10 kpl Muu metsä yli 12 m
tiheys10M12_18 = [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0] # 10 kpl Väljennysshakkuukohde 12–18
```

```
lisk=0 # Laskuri juoksee modulona 0, 1, 2, ... 9, 0, 1, 2, ... 9, ...
# Esim. Lapinmäen maapiste noin 165 m merenpinnan yläpuolella (datumista)
zmaapiste = 165.0
```

```
for p in joukko[0:mien2]: # Tutki koko tiedosto !
    # Maanpintamalli --- Voidaan käyttää myös täydellisempää mallia
    if p.classification == 2:
        zmaapiste = p.z
    p.zMaataso = zmaapiste # Lapinmäen zmaapiste on noin 165 m kuviolla 79
    lisk = (lisk+1)%10 # laskuri juoksee 0, 1, 2, ... 9, 0, 1, 2, ...
    # dz_kasvusto = osuman korkeus datumista – maanpintamallin korkeus
    Hkasvusto = p.z-p.zMaataso
```

TAIMIKON HOITOTÖIDEN ALGORITMIVERSIO

```
# Taimikon Hoitotöiden algoritmiversio kehitysluokalle T1
# Taimikko ali 0,3 – 1,3 m
if (Hkasvusto > 0.3 and Hkasvusto < 1.3):
    tiheys10Tali[lisk] = 1
elif (Hkasvusto <= 0.3 or Hkasvusto >= 1.3):
    tiheys10Tali[lisk] = 0
Tsumma = sum(tiheys10Tali) # Laske summa
p.Talle1x3m = Tsumma # Aseta tietueen kenttään
```

```
# Taimikko 1,3 – 6,0 m algoritmiversio kehitysluokalle T2
```

```
if (Hkasvusto > 1.3 and Hkasvusto < 6.0): # Taimikon korkeus
    tiheys10Tyli[lisk] = 1 # tosi ja keilausosuma valitulle tasolle
p.Tyli1x3m = sum(tiheys10Tyli) # Laske summa ja aseta tietueen kenttään
```

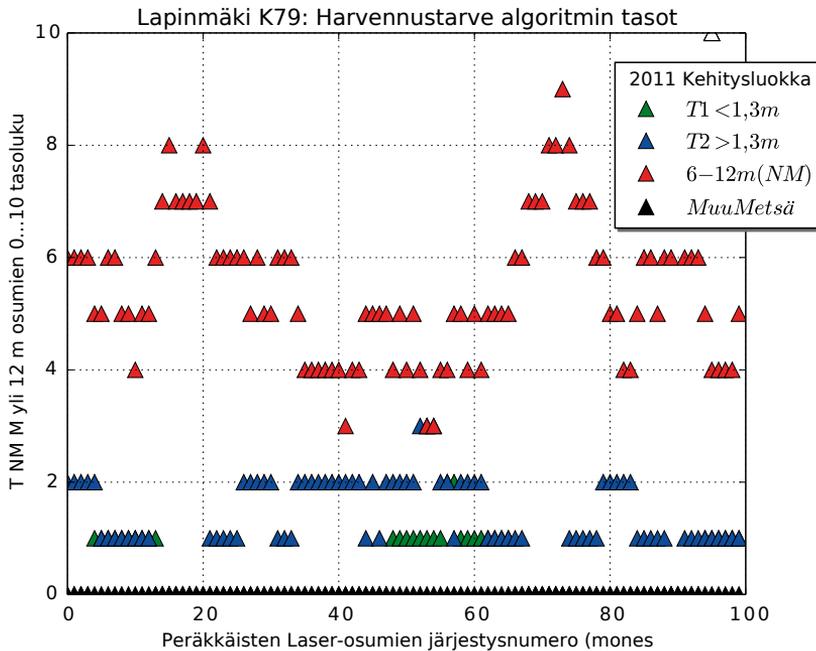
Taimikon hoidon algoritmissa voidaan käyttää myös tiheämpiä rajoja esim. 1,3 m alittavat (0–1,3 m) taimikot ja 1,3 m ylittävät (1,3–6,0 m) varttuneemmat taimikot ja niiden tunnistaminen. Jos algoritmeja käytetään yksinään, siinä tulee olla tosilauseen lisäksi poissulkeva lauseen osa. Liitteen 1 mukaisessa nopeammassa versiossa on ohjelmoitu muuttujien nollaukset, if elif-ketju sekä

tietueen kenttien asetukset. Hoitotyön kiireellisyyden skaala on heti, seuraavan 5 vuoden aikana tai sitä seuraavana viisivuotiskautena. Nämä voidaan myös sitoa todelliseen vuoteen keilausajankohdan mukaan. Liitteessä 2 on kuvattu ArcGIS-yhteensovitettu algoritmi sisältäen kehitysluokat ja kiireellisyydet.

NUOREN METSÄN HOITOTÖIDEN ALGORITMIVERSIO

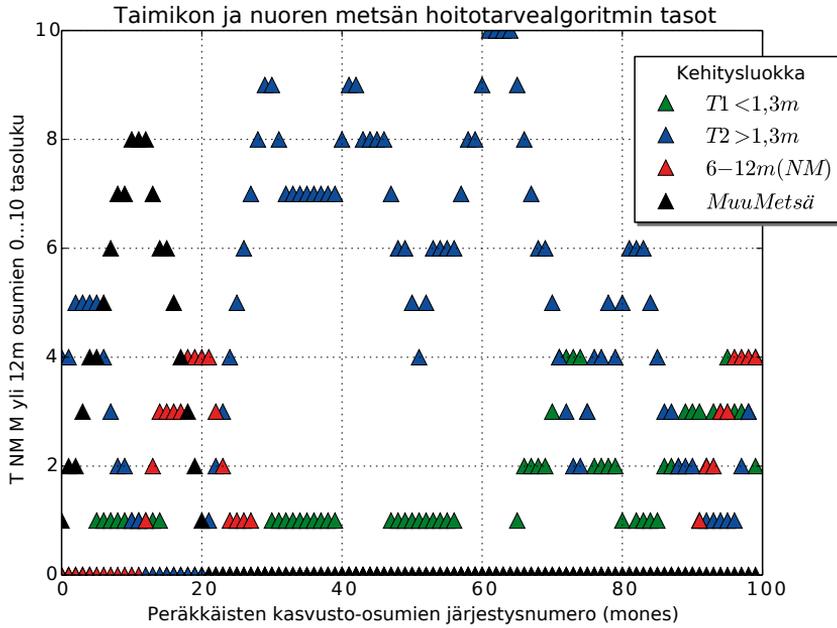
```
# Nuoren Metsän Hoitotöiden algoritmiversio
  tiheys10NM[Isk] = 0 # Poissuljettu alue
  if (Hkasvusto > 6.0 and Hkasvusto < 12.0): # Nuoren metsän korkeus
    tiheys10NM[Isk] = 1
  p.NMhoito = sum(tiheys10NM)
```

Nuoren metsän hoitotöiden algoritmin rajoina kokeiltu 6.0–15.0 m ei toiminut oikein. Vaikka puuston pisimmät puut ovat yli 12 m, LIDAR-keilausdata ei anna harvalla keilaustiheydellä keskimäärin riittävän hyviä ja riittävän paljon latvaosumia todellisen pituuden tunnistamiseksi. EVO:n kokemusten mukaan puiden todellinen pituus on vähintään 0,5 metriä keilauksella mitattua puun pituutta pidempi. Kuvassa 1 on esitetty algoritmin toiminta piirrettyssä muodossa. Algoritmin laskennan tuotokset kirjoitetaan takaisin uuteen tiedostoon, josta ne siirretään kaupallisen ArcGIS-ohjelmiston käyttöön ja analysointiin esim. txt2las.exe-ohjelmalla. Algoritmin yhdeksi parametriksi voidaan asettaa keilaustiheys (0,8 osumaa neliölle). Aines- ja energiapuukohteita voisi tutkia myös algoritmin rajoina 12–18 m nimenomaan väljennysshakkuukohteiden tunnistamiseksi.

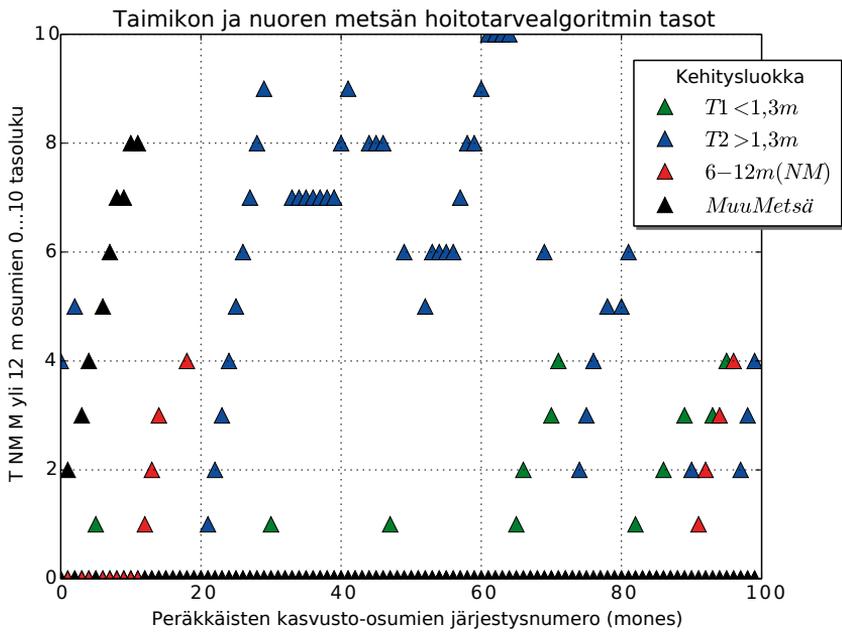


Kuva 1. Algoritmin toimintaesimerkki nuoren metsän hoitotarpeen tunnistamiseksi Lapinmäen kuviolla 79.

Kuvassa 2 on esitetty algoritmin versio, jossa kaikki kehitysluokat piirretään ja tallennetaan erikseen jokaiselle osumalle. Kuvassa 3 on esitetty algoritmin versio, jossa vain ruudun voittajaluokka piirretään ja tallennetaan. Kun lisätään luokitustietoon kehitysluokan hoitotarve, silloin myös voittajaluokka kirjataan ja piirretään. Hoitotarveluokitukseen on käytetty seuraavia arvoja: maaosuma 2, alempi taimikko T1 15–19, ylempi taimikko T2 20–24, nuori metsä 25–29 ja muu metsä 30. Suurempi arvo kuvaa suurempaa kiireellisyyttä kehitysluokan sisällä.



Kuva 2. ”Kyyt” -algoritmin kaikki arvot talletetaan



Kuva 3. ”Kyyt”-algoritmin suurimmat arvot talletetaan

MUU METSÄ YLI 12 M ALGORITMIVERSIO

```
# Muun Metsän yli 12 m algoritmiversio
if (Hkasvusto > 12.0): # Muu Metsäyli 12 m
    tiheys10Myli[Isk] = 1
elif (Hkasvusto <= 12 or Hkasvusto > 40): # T, NM ja linnut pois suljettu
    tiheys10Myli[Isk] = 0
p.Myli12m = sum(tiheys10Myli)
```

Muuta metsää ja vesistöjä voidaan tarpeen mukaan pois sulkea piirrettäessä taimikon ja nuoren metsän hoitotarpeita. Algoritmit tallettavat kymmenpaikkaiseen listaan (taulukkoon) tosi- ja epätosiarvoja. Tasoluku 0–10 eli totuusarvojen summa talletetaan takaisin hoitotarpeen ja kiireellisyyden tunnusluvuksi kulkekin keilausosumalle. Lentolinjaan nähden kohtisuoraan olevat edestakaisin kulkevat keilauslinjat tasaavat keskiarvollisesti tapahtuvaa pientä siirtymää paikkatietoon sidottuna. Tässä yhteydessä tietueessa LIDAR-datan käytössä olleita muuttujia kuten user_data ja angle on käytetty uudelleen varaamatta niille uudennimisiä muuttujia tietueeseen.

YHTEENVETO ALGORITMIN TOIMINNASTA

Kun kasvuston korkeus dz on laskettu kyseiselle osumalle, tarkistetaan, mihin tunnistettavaan korkeusluokkaan se kuuluu. Kasvusto-osuma antaa totuusarvon 1 tosi tai 0 epätosi. Arvo kirjataan 10-paikkaiseen taulukkoon laskurin 0–9 osittamaan paikkaan. Kun peräkkäisiä osumia tulee riittävästi ja summa on 8–10, on löydetty kiireellinen hoitokohde. Algoritmi tallentaa metsän kehitysluokat ja hoitotöiden kiireellisyyden luokitusmuuttujaan. Peräkkäisten osumien käsittely on tehnyt algoritmista erittäin herkän tunnistamaan kehitysluokat ja niiden hoitotöiden kiireellisyyden. Algoritmia on kokeiltu mm. 4 m x 4 m -ruuduille. Algoritmin summalausekkeet käyttävät viereisen ruudun totuusarvoja alkuarvoina, jos keilaustiheys on vain 0,8 osumaa neliölle.

HOITOTARPEEN KIIREELLISYYDEN TUNNISTUS

Kuvassa 4 on esitettyinä tasot ja rajat, jotka Python-koodissa näyttävät seuraavilta. Kyseiset keilausosumiin ja paikkatietoon sidotut arvot voidaan piirtää xy-koordinaatistoon eri väreillä ja piirrosmerkeillä. Hoitotarpeen kiireellisyyttä voidaan korostaa värillä ja merkin koolla (ks. Kuva 4.). Oheiset tasot on kokeellisesti sovitettu koealueelta saadun tietämyksen mukaan. Väreiksi on valittu RGB-koodin voimakkaimmat ääripäät. Myös liukuvärit ovat käytettävissä.

```

pm = 1 # Optiona rajojen viritysparometri plus miinus
pxhetiharNM = [p.x for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito > 7+pm]
pyhetiharNM = [p.y for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito > 7+pm]
pxisoharNM = [p.x for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito == 6+pm or p.NMhoito
== 7+pm]
pyisoharNM = [p.y for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito == 6+pm or p.NMhoito
== 7+pm]
pxharNM = [p.x for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito == 4+pm or p.NMhoito
== 5+pm]
pyharNM = [p.y for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito == 4+pm or p.NMhoito
== 5+pm]
pxei = [p.x for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito < 4+pm]
pyei = [p.y for p in joukko[0:mIen2] if p.NMhoito < 4+pm]

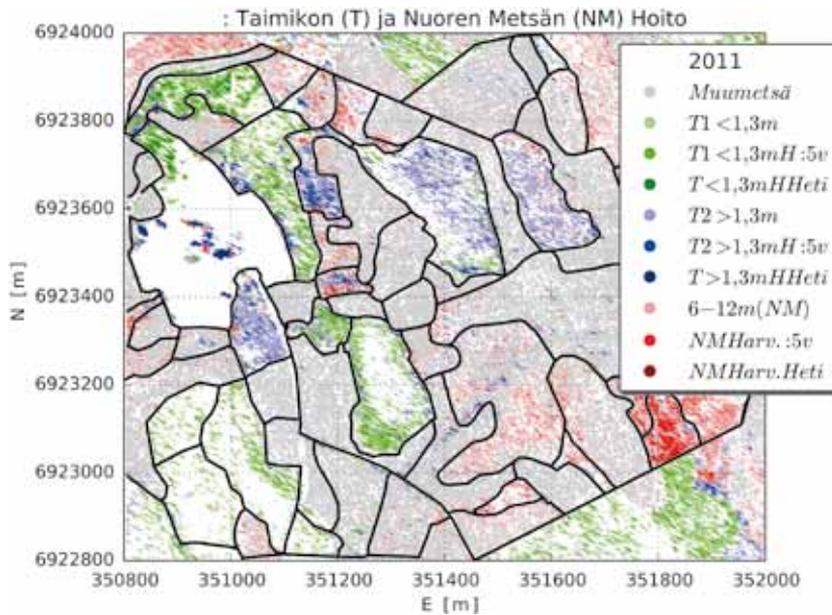
```

```

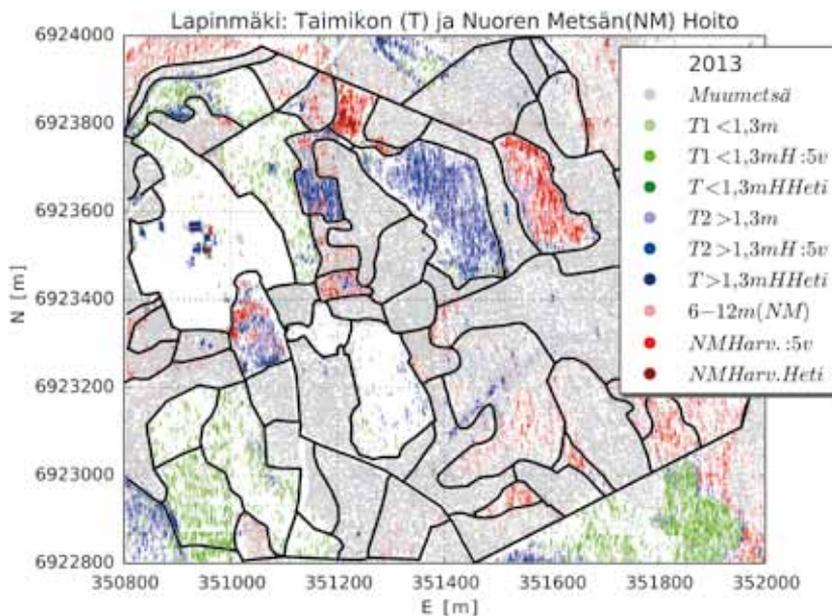
plot (pxharNM, pyharNM, '.', color='#FFA0A0', markersize=merkinkoko)
plot (pxei, pyei, '.', color='white', markersize=merkinkoko)
plot (pxisoharNM, pyisoharNM, '.', color='#FF0000', markersize=merkinkoko)
plot (pxhetiharNM, pyhetiharNM, '.', color='#8B0000', markersize=merkinkoko+3)

```

Lapinmäessä sijaitsevalle koealakuviolle on tehty vuonna 2011 laserkeilaus, josta saadulle datalle algoritmin laskemat kehitysluokkien mukaiset hoitotarpeet näkyvät Kuvassa 4 koealakuvio hakattiin kevättalvella 2013 ja se keilatitiin uudestaan elokuussa 2013. Hakkuun ja kahden vuoden kasvun vaikutus hoitotarveluokitukseen näkyvät Kuvassa 5.



Kuva 4. Lapinmäen taimikon ja nuoren metsän hoitotarpeet vuoden 2011 keilauksesta 144 ha alueelta.



Kuva 5. Lapinmäen taimikon ja nuoren metsän hoitotarpeet vuoden 2013 keilauksesta 144 ha alueelta.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kehitetyt algoritmit ovat herkkiä löytämään taimikon ja nuoren metsän kunnostuskohteita. Myös hoitotöiden kiireellisyyden määrittäminen onnistuu luotettavasti, mutta vaatii vielä tapauskohtaista sovittamista. Kyseinen peräkkäisten osumien käsittely on erittäin tunnistusherkkä verrattuna aikaisemmin käytettyyn pinta-alaperusteiseen ja keskiarvojen laskentaan perustuvaan menetelmään. Kehitysluokkien taimikko alle 1,3 m (T1), taimikko yli 1,3 m (T2) ja nuorimetsä 0,6–12 m hoitotarpeiden tunnistusherkyys on säilynyt myös algoritmin ruutuperusteisessa käsittelyssä. Ruutuperusteinen versio perustuu algoritmin maksimiarvojen etsintään ruudun sisältä. Kehitysluokkien tunnistusalgoritmin herkkyyttä voidaan entisestään lisätä, jos vain kasvustopisteet otetaan mukaan tunnistukseen ja maapisteet ohitetaan. Testiaineistossa yhteen keilaustiedostoon on leikattu keskimäärin 225 ha. Kannettavaa tietokonetta käyttäen on kyseisellä menetelmällä vielä hyvin käsiteltävissä 0,8 osumaa/m² keilaustiheydellä olevia tiedostoja. 3000 ha suuruiset keilaustiedostot on syytä jakaa osiin. LAS-tiedostojen käsittelyyn ja täydentämiseen uudella kehitysluokkatiedolla on tehty Python-kieliset ohjelmat.

LIITE 1

ALGORITMIN PERUSVERSIO

```
# Taimikko ali 0,3 – 1,3 m
  if (Hkasvusto >= 0.3 and Hkasvusto < 1.3):
    tiheys10Tali[Isk] = 1
#   p.scan_direction = sum(tiheys10Tali)

# Taimikko 1,3 – 6,0 m
  elif (Hkasvusto >= 1.3 and Hkasvusto < 6.0):
    tiheys10Tyli[Isk] = 1
#   p.fligth_line_edge = sum(tiheys10Tyli)

# Nuori metsä
  elif (Hkasvusto >= 6.0 and Hkasvusto < 12.0):
    tiheys10NM[Isk] = 1
#   p.user_data = sum(tiheys10NM)

# Metsä yli 12 m
  elif (Hkasvusto >= 12.0):
    tiheys10Myli[Isk] = 1
#   p.angle = sum(tiheys10Myli)

Isk = (Isk+1)%10
if Isk == 0:
  zmaaMinEd = zmaaMin
#”
# KYYT kirjaus jatkuvana jonona
  p.scan_direction = sum(tiheys10Tali)
  p.fligth_line_edge = sum(tiheys10Tyli)
  p.user_data = sum(tiheys10NM)
  p.angle = sum(tiheys10Myli)
#”
```


LIITE 2

ALGORITMIN ARCGIS-YHTEENSOVITETTU VERSIO

```
# Algoritmin luokitus ja sovitus ArcGIS:lle on tehty lisäominaisuutena.
lsk=0
lasku = 0
for p in joukko[0:mLen2]:

    maaMinimit[lsk] = p.z # Maapisteitä tulee reilusti
    zmaaMin = min(maaMinimit) # myös nouseva ja laskeva rinne
    if p.classification == 2 or p.classification == 9: # Maa/vesiosuma löytyi
        zmaaMin = p.z
        elif p.z==zmaaMin and math.fabs(zmaaMinEd - zmaaMin) < 5: # pienin
ja maapiste
        p.classification = 2

    p.gps_time = zmaaMin # Kasvuston korkeus dz lasketaan

    tiheys10Tali[lsk] = 0
    tiheys10Tyli[lsk] = 0
    tiheys10NM[lsk] = 0
    tiheys10Myli[lsk] = 0
    p.scan_direction = 0
    p.fligth_line_edge = 0
    p.user_data = 0
    p.angle = 0

    # Kyyt -algoritmi voittajan kirjaus tai kaikkien kehitysluokkien kirjaus jat-
kuvana

    # Maapisteet mukana tai vain Kasvustopisteet mukana algoritmissa va-
linnaisina.
    Hkasvusto = p.z-p.gps_time # pitää aina olla positiivinen
```

```

# Taimikko ali 0,3 – 1,3 m (T1 –kehitysluokka)
if (Hkasvusto >= 0.3 + confData.PM and Hkasvusto < 1.3 + confData.PM):
    tiheys10Tali[lsk] = 1
    p.scan_direction = sum(tiheys10Tali)
    tmp = sum(tiheys10Tali)
    if int(tmp/2) > 0:
        p.classification = 14 + tmp

# Taimikko 1,3 – 6,0 m (T2 –kehitysluokka)
elif (Hkasvusto >= 1.3 + confData.PM and Hkasvusto < 6.0 + confData.PM):
    tiheys10Tyli[lsk] = 1
    p.fligth_line_edge = sum(tiheys10Tyli)
    tmp = sum(tiheys10Tyli)
    if int(tmp/2) > 0:
        p.classification = 19 + tmp

# Nuori metsa
elif (Hkasvusto >= 6.0 + confData.PM and Hkasvusto < 12.0 + confData.PM):
    tiheys10NM[lsk] = 1
    tmp = sum(tiheys10NM)
    p.user_data = tmp
    if int(tmp/2) > 0:
        p.classification = 24 + tmp

# Metsa yli 12 m
elif (Hkasvusto >= 12.0 + confData.PM):
    tiheys10Myli[lsk] = 1
    tmp = sum(tiheys10Myli)
    p.angle = tmp
    if int(tmp/2) > 0:
        p.classification = 30

lsk = (lsk+1)%10
if lsk == 0:
    zmaaMinEd = zmaaMin

lasku = lasku+1
if lasku%10000 == 0:
    print("lasku = ", lasku)

```

```
#” Kaikki kirjataan tai vain voittaja kirjataan
# Kaikki KYYT kirjaus jatkuvana jonona
p.scan_direction = sum(tiheys10Tali)
p.fligth_line_edge = sum(tiheys10Tyli)
p.ret_num = 0
p.results = 0
# p.scan_direction = 0
# p.fligth_line_edge = 0
p.user_data = sum(tiheys10NM)
p.angle = sum(tiheys10Myli)
#”
```




Maastomittausmenetelmiä nuorten
kunnostamattomien metsien hoidon suunnitteluun

KATSAUS NYKYISIIN METSIKÖN MITTAUSMENETELMIIN

Tapani Sauranen & Raito Paananen

Metsien mittauksissa uutta tekniikkaa on hyödynnetty varsin hitaasti. Teknisempiä mittauslaitteita on kehitetty lähinnä tutkimuksen tarpeisiin, mutta käytännön maastomittauslaitteet ovat pysyneet muuttumattomina. Kuvioittaisessa metsänarvioinnissa suurin osa mittauksista tehdään edelleenkin silmävaraisesti, joten mittaajan ammattitaidoilla on suuri merkitys. Käytetyimmät perinteiset mittausvälineet ovat relaskooppi, talmeter ja hypsometri. Näiden etuna on ollut helppokäyttöisyys, kestävyys ja edullinen hinta (Vastaranta, Holopainen, Kaartinen, Hyyppä & Hyyppä 2009).

Merkitävimpiä uudistuksia perinteisiin maastomittausvälineisiin ovat olleet puun pituuden mittauksessa ultraääntä tai laseria hyödyntävät etäisyyden- ja kulmanmittauslaitteet, jotka ovat osaltaan korvanneet hypsometrit, sekä läpimitan mittauksessa käytettävät elektroniset mittasakset. Edellä mainituilla laitteilla mittaustulokset voidaan tallentaa suoraan laitteiden muistiin tai Bluetooth-tekniikalla erilliseen maastotietokoneeseen. Uutta teknologiaa hyödyntävien mittausvälineiden avulla ei ole kuitenkaan pystytty merkittävästi nostamaan mittaustyön tehokkuutta. Uusien mittauslaitteiden ongelmiksi ovat muodostuneet usein laitteen käytettävyys maasto-olosuhteissa, tehottomuus sekä korkea hinta. Toisaalta ne soveltuvat paremmin tarkkaan koealamittaukseen ja yksittäisten puiden mittaamiseen.

Kaikkien koealamittausten riskinä on se, kuinka hyvin ne edustavat kyseistä metsäkuviota. Mitä suurempi otantaprosentti on, sitä tarkempia tulokset yleensä ovat. Käytännön metsäsuunnittelussa ja muissa metsässä tapahtuvissa maastotöissä ei ole kustannustehokkuuden takia mahdollisuutta tarkkoihin koe-alamittauksiin. Tämän takia luotettavalle automaattimittauksella olisi kysyntää.

SILMÄVARAINEN ARVIOINTI

Yksinkertaisimmillaan mittaus voi perustua silmävaraiseen arvioon puuston määrästä (pituudesta, keskiläpimitasta, pohjapinta-alasta jne.) ilman mitään apuvälineitä. Tällöin kyseessä ei oikeastaan ole mittaus vaan arvio, joka saattaa poiketa huomattavasti oikeasta tuloksesta.

YKSINPUINLUKU

Pienille alueille sopiva menetelmä, jossa kaikkien puiden läpimitat mitataan rinnankorkeudelta. Lisäksi valituista koepuista mitataan pituudet, kapeneminen ja muut laatutekijät. Arvioinnin tarkkuus riippuu ratkaisevasti koepuiden valinnasta ja mittauksesta. Menetelmä oli varsin yleinen ns. pystymittauksessa menneinä vuosina, kun hakkuut tehtiin metsurityönä, eikä hakkuukoneissa ei ollut mittausautomaatiikkaa.

KOEALA-ARVIOINNIT / OTANTAMITTAUKSET

Menetelmän tavoitteena on kuvata koealojen avulla koko kuvion tai alueen puustotunnuksia. Koeala voi olla muodoltaan kiinteä; esim. suorakaide, ympyrä tai muuttuva-alainen, kuten relaskooppikoeala. Otantamittauksen luotettavuus on riippuvainen koealojen määrästä ja koosta, koepuiden (d1,3 ja pituus) valinnasta, mahdollisista mittausvirheistä sekä mitattavan alueen puuston vaihtelusta. Mitä suurempi otantaprosentti on, sitä luotettavampia tulokset yleensä ovat. Otantavirhe on kysymyksessä silloin, kun valitut koealat eivät edusta metsäaluetta täydellisesti. Riski siitä, että koealat osuvat keskimääräistä puustoisempiin tai vähempipuustoisiin kohtiin kasvaa, mitä vähemmän koealoja on, ja mitä suurempi on puuston vaihtelu mitattavalla alueella.

Mitattavien maastokoealojen koko ja määrä vaikuttavat eniten kustannustehokkuuteen. Mittauksia tulisi olla riittävästi, jotta päästään haluttuun luotettavuuteen. Toisaalta mittauksia ei kannata tehdä liikaa, eivät kustannukset karkaisi. Sekä koealamäärän että koealakoon suurentaminen parantaa puustotunnusten arvioinnin luotettavuutta. Kysymys onkin siitä, kuinka saadaan mahdollisimman vähillä koealamittauksilla riittävän luotettava tulos (keskivirhe vs. kustannukset).

Vertailtaessa eri maastomittausmenetelmiä, korostuvat seuraavat seikat:

- tarkkuus
- luotettavuus
- tuottavuus
- taloudellisuus
- maastokelpoisuus

- helppokäyttöisyys, nopeus
- kestävyys
- edullisuus
- sopivuus nykyisiin tiedonsiirtomenetelmiin

LASERKEILAUKSEEN LIITTYVÄT MAASTOMITTAUKSET

Lentokoneella tehtävä laserkeilaus (Aerial Laser Scanning) ja siihen perustuva puuston automaattitulkinta on nopea ja kustannustehokas menetelmä suurien alueiden puuston inventointiin. Metsien inventoinnissa ollaan siirtymässä puustoinventoinnin osalta harvapulssiseen laserkeilaukseen, aluepohjaiseen laserpisteaineiston piirteiden irrotukseen ja ei-parametriseen arviointiin perustuvaan inventointimenetelmään. Menetelmän lähtökohta on, että kukin otosyksikkö (esim. 16 x 16 m hilaruutu) liitetään laserkeilaus- ja ilmakuvapiirteiltään lähimpiin maastossa mitattuihin otosyksiköihin (koealoihin). Siten jokaiselle tulkittavalle otosyksikölle saadaan liitettyä tarkka maastomittaus-tieto. Inventointia varten kohdealueelta mitataan maastossa tarkasti joukko referenssikoealoja. Koealat pyritään sijoittamaan mahdollisimman kattavasti erilaisiin metsiköihin, jotta tulokset voidaan yleistää keilattuun aineistoon. Koealat ovat tyypillisesti kiinteäsäteisiä ympyräkoealoja. Aiemmin ei ole ollut vastaavaa tarvetta ympyräkoealojen mittaamiseen kuin nyt uuden inventointijärjestelmän myötä. Puustotulkintaa varten kohdealueelle tehdään normaali metsikkökuviointi, jolle puustotulkintatulokset voidaan tuottaa joko suoraan tai em. hilaruudun avulla. Kuvioittaisten tulkittujen puustotunnusten perusteella määritetään metsikkökuvioille toimenpidetarpeet laskennallisesti.

Edellä kuvatussa metsän inventointijärjestelmässä kuvioittaisen arvioinnin subjektiivisia maastomittauksia ei enää tarvita muuta kuin taimikoissa, joissa em. menetelmä ei tällä hetkellä toimi riittävän luotettavasti. Laserkeilausmenetelmä vaatii tuekseen laajan, tarkasti mitatun maastoaineiston, jonka hankinta on uuden inventoinnin merkittävä kustannuserä. Koealati-tojen perusteella ei lasketa alueen metsikkötunnuksia, vaan niitä käytetään kaukokartoitustulkinnan tukena. Tarvittavat maastomittaukset tehdään tarkasti paikkaan sidotuilta kiinteäsäteisiltä ympyräkoealoilta. Mittauksiin kuuluu kaikkien tiettyä läpimittaa suurempien puiden läpimittojen sekä koepuiden pituuksien mittaaminen puulajeittain. Jokaisesta tulkittavan metsäalueen ositteesta on oltava riittävä määrä koealoja, koska maastoaineiston laatu

ja määrä ratkaisevat inventoinnin onnistumisen. Jos maastomittauksia eli referenssikoealoja ei ole mitattu riittävästi tai mitatut koealat eivät kuvaa alueen puuston ja kasvupaikkojen ominaisuuksia riittävän hyvin, tulkintatulokset eivät ole luotettavia.

Koealamittauksia pystytään tekemään jo olemassa olevin menetelmin ja laittein, mutta inventointia voisi tehostaa myös maastomittauksia kehittämällä. Maastotyö on inventoinnin kallein vaihe, jota tarvitaan edelleen laserkeilauksen yhteydessä. Mittauksia tarvitaan sekä etukäteen laseraineiston tulkinnan referenssiaineistoksi että inventointitulosten laadun tarkistamiseksi jälkikäteen (maastokontrollimittaukset eli validointi).

KOEALAMITTAUS YHDEN HENKILÖN TEKEMÄNÄ ELEKTRONISIA MITTASAKSIA HYÖDYNTÄEN

Edellä kuvatut koealamittaukset tehdään yleensä parityöskentelynä. Käyttämällä esimerkiksi Masser Sonar Caliper -mittasaksia, yksi henkilö voisi tehdä mittaukset ja kustannukset laskisivat olennaisesti. Näissä elektronisissa mittasaksissa on ultraääneen perustuva kulman ja etäisyyden mittaus sekä elektroninen kompassi puun sijainnin ja pituuden mittaukseen, jonka avulla voidaan luoda tarkka puukartta. Kerättyä tietoa voidaan siirtää Bluetoothin välityksellä tai se voi toimia itsenäisenä tiedonkeruuyksikkönä. Laitteeseen on myös mahdollisuus liittää GPS tarkan sijainnin määrittämiseen. Ultraääneen perustuva puun etäisyyden mittaus mahdollistaa toimivuuden myös peitteisissä puustoissa. Mainittakoon, että 2000-luvun alussa kehitetyllä laserrelaskoopilla yksi mittaaja pystyi mittaamaan koealan puustotiedot ja puukartan koealan keskipisteestä käsin keskimäärin 15,5 minuutissa. (Kalliovirta & Räsänen 2003.)

Masser on RC3H hyvä työkalu pohjapinta-alamittauksiin. Laite laskee jokaisen mitatun koealan jälkeen pohjapinta-alan tai puiden tilavuudet, jonka perusteella mittaaja voi päätellä koska riittävä tarkkuus on saavutettu. Laitteella voidaan myös mitata puiden pituuksia kävelemättä puun juurelle.

KOEALAMITTAUSTEN AJANMENEKKI

Laserkeilausaineiston tueksi tarvittavien, maastossa tapahtuvien ympyräkoealojen mittauksen ajanmenekki on riippuvainen mm. koealan koosta, puuston tiheydestä ja koeuiden määrästä. Varttuneissa puustoissa (kehitysluokka 02–04), käytetään 9 metrin koealasädettä. Varttuneissa ja hoidetuissa taimikoissa (kehitysluokka T2, joissa puuston keskipituus on yli 4 m) koealasäde on pienempi eli 5,64 m. Hoitamattomissa ja pienemmissä taimikoissa taimik-

kokoeala koostuu 9 m säteelle sijoitettavista neljästä 2,82 m alikoealasta, joiden perusteella saadaan paremmin tietoa koko koeala-alueen sisäisestä vaihtelusta.

Ari Lamminahon tekemässä Koealamittauksen ajanseuranta Keski-Suomen metsäkeskuksessa –raportissa on tietoa eri kehitysluokkaa olevien metsiköiden koealamittauksen ajanmenekeistä. Kehitysluokkien 02–04 koealojen mittauksiin kului keskimäärin 29 minuuttia, vaihteluvälin ollessa 12–57 minuuttia. Vastaavasti kehitysluokkien T1–T2 mittauksiin kului keskimäärin 31 minuuttia (vaihteluväli 21–40 minuuttia). Taimikkokoealan mittaukseen kului keskimäärin 26 minuuttia, vaihteluvälin ollessa 20–32 minuuttia. Huomattavaa on, että osa ajasta kuluu koealan paikannukseen, jota varten tarvitaan laadukas tarkkuus-GPS. (Lamminaho 2012.)

TYÖMÄÄRÄN ARVIOINTIMENETELMÄT TAIMIKOISSA JA NUORISSA KUNNOSTAMATTOMISSA METSISSÄ

Hoitotoimenpiteitä ja mahdollisia energiapuukertymiä arvioitaessa hyödynnetään voimassaolevia metsäsuunnitelmatietoja sekä ilmakehä-aineistoa. Näiden sisältämät tiedot eivät usein kuitenkaan ole riittäviä, vaan tarvitaan maastokäyntejä kohteille.

TAIMIKOT

Etenkin kunnostamattomien, runsaasti aliskasvosta sisältävien metsien puustotunnusten mittaaminen on hidasta ja vaikeaa. Tämän takia tyydytään varsin usein silmämääräiseen arviointiin kasvatettavan puuston runkoluvusta sekä mahdollisesta taimikonhoitotyön tarpeesta ja sen ajankohdasta. Tämä pätee sekä metsänomistajiin että metsäammattilaisiin. Taimikonhoidoissa ei kerry myytävää puuta, joten toimenpiteet aiheuttavat omistajalleen vain kustannuksia. Tosin hoitotoilla varmistetaan puuston kasvu ja tuotto tulevaisuudessa. Maanomistaja voi tehdä työn itse tai teettää sen ulkopuolisella (esim. mhy, metsäyhtiö, metsäpalveluyritys). Mikäli maanomistaja on päättänyt tehdä työn itse, hyvin harvoin hän mittaa kuviolta etukäteen poistettavien runkojen lukumäärää (kpl/ha) ja kantolämpimittoja (cm). Oleellista maanomistajan ja metsäammattilaisenkin tekemässä työssä on mitata/arvioida jäljelle jääneen puuston tiheyttä ja puulajisuhteita verrattuna metsänhoitosuosituksiin.

Maanomistaja voi teettää taimikonhoitotyön ulkopuolisella kokonaisurakana etukäteen sovittuun hintaan tai urakkatuntipalkalla. Yleistä kuitenkin on, että urakkahinnoittelu perustuu työvaikeusluokitukseen, jonka perusteella

voidaan laskea hehtaarikohtainen kustannus (€/ha). Työvaikeusluokitus voidaan tehdä etukäteen, mutta varsin usein se on yhdistetty taimikonhoitotyön yhteydessä metsurin toimesta tehtäväksi. Mittauksesta maksetaan metsurille työehtosopimuksen mukainen korvaus.

Kemera-lain mukaan rahoitettavissa taimikonhoitotöissä on kriteerit sekä poistettavan että jäljelle jäävän puuston runkoluvulle sekä hoitovaiheen puuston pituudelle. Nämä mitataan työn jälkeen kun kohteelle haetaan valtion tukea ns. jälkirahoitteisena hankkeena.

NUORET KUNNOSTAMATTOMAT METSÄT

Nuoren metsän kunnostuskohteilta kertyy pääosin energiapuuta. Kohteen sijainti ja energiapuun määrä ratkaisee kannattaako puuta korjata myyntiä varten: mitkä ovat puunmyyntitulot ja vastaavasti korjuumenot. Jos puu korjataan omaan käyttöön, kannattavuustavoitteita ei juurikaan mietitä. Energiapuukauppaa pohdittaessa metsänomistaja, hänen edustajanaan oleva metsäammattilainen, työpalvelun tarjoaja ja myös energiapuun ostaja joutuvat arvioimaan työmäärää ja kertyvän energiapuun osuutta. Se voi perustua pelkkään silmämääräiseen arviointiin, mikäli arvioija on erittäin kokenut ja hänellä on kokemuseräistä tietoa arvioidensa tarkkuudesta. Varsin yleinen toimintatapa on, että metsäammattilainen antaa työkustannuksesta ja energiapuukertymästä metsänomistajalle etukäteen noin arvion, joka tarkentuu työn toteuduttua. Kuitenkin maastossa tapahtuva puustotunnusten kerääminen parantaisi selvästi puustoennusteiden tarkkuutta. Silmämääräiseen arviointiin kulunut aika kannattaisikin käyttää puustotunnusten (läpimitta, runkoluku/pohjapinta-ala, pituus) keräämiseen ympyrä- tai relaskooppi-aloilta.

Voimassa olevan Kemera-lain mukaan rahoitettavissa nuoren metsän hoitotöissä on kriteerit sekä poistettavan että jäljelle jäävän puuston runkoluvulle sekä hoitovaiheen puuston pituudelle. Myös poistettavan puuston kantoläpimitalle ja jäävän puuston rinnankorkeusläpimitalle on asetettu tietyt kriteerit. Uusittavassa Kemera-laissa tultaneen v. 2015 siirtymään siihen, että valtion tukea työlle haettaessa työtä ei saa aloittaa ennen hakemuksen jättämistä. Tämä johtanee tarkempaan töiden ennakosuunnittelun tarpeeseen.

LÄHTEET

Kalliovirta, J. ja Räsänen, T. 2003 Laserrelaskooppimittauksen tarkkuus ja ajanmekki. Metsätehon raportti 152.

Lamminaho A. 2012. Koealamittauksen ajanseuranta Keski-Suomen metsäkeskuksessa -raportti. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Vastaranta, M., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyypä, M. ja Hyypä, J. 2009.

KEHITTEILLÄ OLEVAT MITTAUSMENETELMÄT NUOREN METSÄN KUNNOSTUSTYÖMÄÄRIEN ARVIOINTIIN

Olli Väänänen & Riitta Pellinen

JOHDANTO

Metsän uudistamisen jälkeen on taimikonhoito tärkein työvaihe, jolla varmistetaan tasalaatuinen ja puulajisuhteiltaan tuottava metsikkö rakenne. Taimikonhoidon viivästyminen ja työn muuttuminen nuoren metsän kunnostukseksi aiheuttavat lisääntyneitä työkustannuksia ja vaativat kunnostustyön tekijältä korkeaa ammattitaitoa. Nuoren metsän kunnostukseen tarvittavan työmäärän arvioiminen vaatii perinteisin menetelmin maastokäyntejä ja kontrollilaskentaa, joihin ei kustannus- ja resurssisyistä aina ole mahdollisuutta. Kunnostusmäärien arviointiin ja kohteiden paikantamiseen on kehitetty ja kehitetään erilaisia apuvälineitä, joiden avulla arviointia olisi mahdollista tehdä entistä kustannustehokkaammin. Näitä ovat esimerkiksi maalaserkeilaus sekä älypuhelimille kehitetyt metsänmittaukseen tarkoitetut sovellukset: Trestima, Relasphone ja JokaMies.

Uudet menetelmät mahdollistavat aikaisempaa tarkemmat mittaustulokset, vähentävät maastokäyntien tarvetta ja mahdollistavat työmaatietojen siirron päätelaitteilta pilvipalvelujen avulla. Lisäksi uudet mittausmenetelmät voivat toimia metsätoimihenkilöiden, metsäpalveluyrittäjien ja metsureiden ammattikäytössä tai innostaa metsänomistajia omien metsien hoitamiseen ja kunnostustyön tarpeen määrittämiseen omatoimisesti.

MAALASERKEILAUS

Puustokohtaisessa maalaserkeilauksessa (terrestrial laser scanning, TLS/mobile laser scanning, MLS) laserkeilain vieään mitattavalle kohteelle eli koealalle, jossa suoritetaan mittaukset (Vauhkonen, Kankare, Tanhuanpää, Holopainen & Vastaranta 2013). Maalaser skannaa metsää 360 ° ympyräkoealan ja tallettaa tiedot esimerkiksi muistikortille. Mitattaessa puun sijaintia maalaserin tarkkuus on noin 1 cm ja puun läpimitan mittauksessa noin 5 cm. Yhden koealan skannaus kestää joitakin minuutteja. Laserkeilaimet jaetaan etäisyysmittausperiaatteen perusteella kahteen luokkaan, pulssilaserkeilaimiin ja vaihe-erokeilaimiin. Pulssilaserkeilain lähettää lyhyen laserpulssin kohteeseen ja mittaa pulssin kulkuajan kohteeseen ja takaisin. Pulssilaserkeilain

soveltuu parhaiten pitkille etäisyyksille. Vaihe-erokeilaimet ovat parhaimmillaan lähellä olevien kohteiden, yksittäisten puiden ja koealojen mittauksessa. Vaihe-erokeilaimessa keilain lähettää jatkuvaa lasersädettä ja vertaa lähetetyn ja palaavan säteen vaihe-eroa, josta saadaan määritettyä etäisyys kohteeseen. (Ronkainen 2011; Vastaranta, Holopainen, Kaartinen, Hyyppä & Hyyppä 2009.)

Maalaser mittaa automaattisesti ympäröivän kolmiulotteisen (3D) ympäristön kymmenillä miljoonilla laser-pisteillä muodostaen ympäristöstä tiheän pistepilven. Maalaser on yleensä asetettu kolmijalan päälle ja keilaimen paikka on tarkasti tiedossa. Maalaserin lähettämä lasersäde heijastuu takaisin esteistä ja heijastuspiste muodostaa pisteen pistepilveen, jonka paikka on tiedossa. Pistepilven pisteet on sijoitettu 3D-koordinaatistoon. Tästä pistepilvestä voidaan mitata esimerkiksi näkyvien puiden sijainti, pituus, latvuspeitto, puulaji ja runkokäyrä. Maalaserin suurin etu on sen mahdollisuus muodostaa tarkkoja mittauksia ympäröivästä metsästä. Suurena haasteena ja yleistymisen esteenä maalaserin käytölle ympyräkoealamittauksissa on laitteen korkea hinta ja heikko mittaustarkkuus tiheissä metsissä automaattisia datan prosessointimenetelmiä käytettäessä. Maalaserkeilain voi mitata vain suoraan näkyviä kohteita. Puuston tiheys, alikasvoksen peittävyys ja maastomuodot vaikuttavat siihen, mitä pistepilvessä näkyy ja kuinka hyvin siitä em. ominaisuudet ovat mitattavissa. Automaattiset pistepilven käsittelymenetelmät ovat tällä hetkellä suuri heikkous ja este maalaserin laajemmalle käytölle ympyräkoealamittauksissa. (Liang 2013; Vastaranta ym. 2009.)

Maalaserin kyky kerätä miljoonia pisteitä pistepilveen lyhyessä ajassa perustuu skannaustekniikkaan. Laserkeilain kerää tietoa ympäristöstä vaaka- ja pystysuunnassa askeleittain. Pystysuuntainen skannaus tapahtuu nopeasti kääntyvällä peilillä ja vaakasuuntainen skannaus hitaammin koko laitteen kääntyessä niin, että lasersäde skannaa 360 astetta. Skannaus alkaa pystysuunnassa esimerkiksi kohtisuoraan ylöspäin ja kääntyy alimpaan kulmaan vaakatason alapuolelle, josta se kääntyy toiselle puolelle ja jatkaa skannausta kohti lakipistettä kohtisuoraan ylöspäin. Vaakasuunnassa keilain kääntyy 180 astetta ja keilaa laitteen molemmilta puolilta samanaikaisesti. (Liang 2013.)

Maalaserkeilaus voidaan tehdä yhdestä pisteestä kuten perinteinen koealamittaus tai useammasta keilauspisteestä. Yhdestä pisteestä tehty koealakeilaus kykenee mittaamaan korkeintaan 50 % puista (näkyvä osa). Vaikka kaikki puut saataisiin keilaukseen mukaan, niin puun taustapuolta ei saada keilaukseen. Yhdestä pisteestä tehdyssä keilauksessa lisäksi osa puista jää keilaamatta kokonaan, koska osa puista jää lähempänä olevien puiden taakse joko osittain tai kokonaan. Yhdestä pisteestä tehdyn keilauksen ongelma on myös pistepilven tiheyden riippuvuus kohteen etäisyydestä. Mitä kauempana

kohde on, sitä harvempaan laserpisteitä osuu kohteeseen ja sitä epätarkemmin kohde saadaan keilattua. Yhdestä pisteestä tehty keilaus on nopea ja aineiston käsittely helpompaa kuin useasta pisteestä tehty keilaus, mutta heikkoutena on myös kauempana mittauspisteestä olevien kohteiden pistetarkkuus. Useasta pisteestä tehdyissä keilauksissa katve- ja pistetarkkuusongelmat vältetään. Useasta pisteestä tehdyssä keilauksessa eri keilausdatat joudutaan yhdistämään. Keilausdatojen yhdistäminen on työlästä, koska täysin automaattisia menetelmiä ei ole. (Vastaranta ym. 2009; Vauhkonen ym. 2013.)

Maalaserkeilauksessa pistepilvestä puita voidaan havaita manuaalisesti tai automaattisesti. Tutkimusten mukaan yksittäisestä pisteestä suoritetuista maalaserkeilauksista pistepilvestä automaattisesti havaittiin 73,4 % koealan puista (min 55,3 %, max 89,5 %) ja useasta pisteestä tehdyistä mittauksista (neljästä pisteestä, yksi koealan keskeltä ja kolme koealan reunoilta) havaittiin keskimäärin 95,3 % koealan puista (min 91,7 %, max 100 %). (Liang 2013.)

Maalaserkeilaus on erityisen tarkka yksittäisen puun tasolla erityisesti puun läpimitan mittauksen osalta (Liang 2013). Maalaserkeilaus ei pysty mittaamaan puiden pituuksia kovinkaan luotettavasti. Maalaserkeilaimen pystysuuntainen mittauskulma ei ole täydet 360 astetta vaan noin 310–320 astetta, siten maalaserkeilaimen lähellä olevista puista ei tule latvan yläosasta pisteitä pistepilveen. Myös tiheä oksisto ja edessä olevat puut estävät pituustiedon saamisen kauempana olevista puista. (Liang 2013; Vauhkonen ym. 2013.)

Maalaserkeilaus on lupaava mittausmenetelmä, jonka avulla on mahdollista mitata ympyräkoeloilta tiettyjä puustotunnuksia nopeasti. Maalaser on erityisen tarkka puun läpimitan mittauksessa ja sillä on mahdollista mitata puutason runkolukusarja varsin tarkasti. Kokonaan perinteisiä menetelmiä se ei pysty korvaamaan, sillä esimerkiksi puulajien tunnistus ei onnistu suoraan pistepilvestä. Käytettävät laserkeilaimet ovat kalliita ja ne eivät sovellu kovin hyvin maasto-olosuhteisiin.

Maalaserkeilauksen käyttö metsän mittaamisessa on aktiivisen tutkimuksen kohde myös Suomessa. Tästä esimerkkinä on Suomen Akatemian laserkeilauksen huippuyksikkö, jossa ovat mukana tutkimusryhmät Suomen Geodeettiselta laitokselta, Oulun yliopistosta, Aalto yliopistosta ja Helsingin yliopistosta. (Centre of Excellence in Laser Scanning Research.)

TRESTIMA

Trestima on älypuhelimelle tehty metsänmittausjärjestelmä. Trestima Oy:n kehittämä mobiilisovellus perustuu metsäkuviolta älypuhelimella otettuihin kuviin. Puhelin paikantaa kuvat ja rekisteröi kuvaussuunnan. Kuvat lähetetään matka-

puhelinverkon kautta pilvipalvelimelle, joka konenäön avulla tunnistaa puut ja puulajit kuvasta (kuva 1). Kuvassa 1 näkyy kuinka Trestima:n mittausjärjestelmä on tunnistanut kuvasta puita. Pallukan väri kertoo puulajin. Kultakin kuviolta tulee ottaa 3–10 valokuvaa. Kuvauspaikat valitaan siten, että ne edustavat arvioitavaa metsää mahdollisimman hyvin. Mitä enemmän kuviolta otetaan kuvia sitä tarkemman tuloksen järjestelmä antaa. Pilvipalvelussa kuvasta lasketaan muun muassa puuston pohjapinta-ala puulajeittain. Lisäksi arvioijan tulee valita metsää hyvin edustava mediaanipuu, jonka kylkeen kiinnitetään mittatikku. Mittatikun avulla saadaan määritettyä mittakaava. Mediaanipuu kuvataan tyveltä ja kauempaa siten, että myös latva näkyy. Mittatikun avulla kuvista saadaan määritettyä puun poikkileikkauspinta-ala sekä pituus. (Kimmo 2013 & Riikilä 2013.)



Kuva 1. Trestima tunnistaa kuvasta puut ja puulajin. (Kuva: Trestima Oy)

Sirviö (2014) on opinnäytetyössään testannut Trestimaa Evo:n opetusmetsässä. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut testata näytemäärän (otettujen kuvien määrän) vaikutusta tuloksiin. Evon opetusmetsissä on vuonna 2010 tehty yksinpuinmittaukset yhdeksälle metsikkökuviolle. Kuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala on 23,1 hehtaaria. Kyseisiltä kuvioilta on kaikista puista mitattu läpimitta ja pituusmalli on laskettu valituista koepuista. Tätä vertailuaineistoa voidaan pitää luotettavana. Koska yksinpuinmittaus on tehty vuonna 2010, niin puustotietoja on kasvatettu MOTTI-ohjelmalla kolmen kasvukauden verran.

Opinnäytetyössään Sirviö (2014) testasi Trestimaa seitsemällä näistä yhdeksästä kuvioista. Testin ensisijaisena tarkoituksena oli testata tietyllä näytemäärällä saavutettava tilavuuden mittaustarkkuus. Lisäksi testattiin Trestiman yleistä käytettävyyttä ja soveltuvuutta metsänmittaukseen.

Näytteet eli kuvat metsäkuviolta tulisi ottaa mahdollisimman tasaisesti, jotta ne ilmentäisivät mahdollisimman hyvin kuvion kokonaisuustoa. Kuvaajan tulisi pyrkiä objektiivisuuteen valitessaan kuvauskohtia. Sovelluksen käyttöohje suosittelee, että kuvat otetaan kuviorajaa noudattaen, mutta kuitenkin selvästi kuvion sisäpuolelta. Kuvat tulisi ottaa siten, että kuvaan ei tule kuvion ulkopuolisia puita eikä merkittävästi näkyvyyttä haittaavia esteitä. Myös vastavalo voi haitata kuvien tulkintaa. Puhelin paikantaa kuvanottoaikat GPS-vastaanottimen avulla. Kuvauskohdat näkyvät puhelimen näytöllä olevassa kartassa sinisenä pisteinä. (Sirviö 2014.)

Kolmen pohjapinta-alanäytteen eli kuvan analysoinnin jälkeen järjestelmä ilmoittaa myös keskivirheen prosentteineen. Keskivirheen tulisi pienentyä näytteiden lisääntyessä, mutta kuvion yleisilmeestä poikkeavat näytteet voivat myös kasvattaa keskivirhettä. Näytteet mediaanipuusta mittatikun kanssa tulisi ottaa, kun on saatu yleiskuva metsikkökuvion puustosta. Samasta puulajista voidaan ottaa myös useita mediaanipuunäytteitä, jolloin niiden keskiarvoa käytetään laskelmissa. Mediaanipuun valinta vaikuttaa lopulliseen puustoraporttiin. Mediaanipuunäytteiden kuvauspaikat näkyvät karttapohjassa punaisina pisteinä. (Mt.)

Sirviön (2014) testissä olleiden kuvioiden puusto oli kehitysluokiltaan joko varttunutta kasvatusmetsää tai uudistuskypsää metsää (kehitysluokka 3 ja 4). Sirviö (2014) ei ole testannut Trestiman toimintaa nuorissa metsissä. Trestiman soveltuvuudesta nuorille kunnostamattomille metsille ei ole tietoa.

Sirviö (2014) on päätenyt opinnäytetyössään osin ristiriitaisiin lopputuloksiin. Viidellä mitatulla kuviolla lopputulokset ovat varsin tarkkoja, mutta kahdella mitatuista kuvioista Trestimalla mitatut tilavuudet ovat kaukana vertailuarvoista. Näin pienestä otannasta ei ole mahdollista tehdä yleisiä johtopäätöksiä. Sirviö (2014) päätyy johtopäätökseen, että Trestima toimii hyvin suuremmilla kuvioilla, varsinkin jos kuvion muoto mahdollistaa näytteenotto- paikkojen tasaisen sijoittelun kuviolle. Kuviot, joilla tulokset ovat olleet kaukana vertailuarvoista, olivat melko pieniä kuvioita, toisen ollessa 1,0 hehtaaria ja toinen 0,52 hehtaaria. Pienillä kuvioilla näytteenotto- paikkojen sijoittelusta tulee haastavaa erityisesti, jos kuvion muoto on kapea ja pitkänomainen.

Sirviön (2014) testissä Trestimalla määritetyt puuston tilavuudet muodostuvat kaikilla kuvioilla kontrollinmittaukseen verrattuna liian suuriksi. Suurilla kuvioilla tilavuuden ero vertailutilavuuteen jää kuitenkin alle 10 prosenttiin.

Sirviön (2014) kokemusten perusteella Trestima on helppokäyttöinen ja yleisvaikutelma sovelluksesta on positiivinen. Käyttäjä on suurin mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttava tekijä.

Mäkinen (2014) on kehittämisprojektissaan vertailut miten Trestiman avulla tuotetut puustoarviot eroavat perinteisistä koealamittauksista. Raportissa on erityisesti vertailtu eroja pohjapinta-alassa ja puulajisuhteissa, jotka ovat mahdollisimman vähän mittaajasta riippuvia puustotunnuksia. Aineistona on käytetty 44 mikrokuviota Keski-Suomesta. Valtaosa kyseisistä alueista on laserkeilattu kesällä 2013, samoin koealamittaukset kyseisille mikrokuvioille on suoritettu 2013. Siten Trestimalla loppusyksystä 2013 suoritettavat mittaukset ovat suoraan vertailukelpoisia useimmilla mikrokuvioilla. 16 Jyväskylässä sijaitsevaa mikrokuviota oli keilattu ja koealamitattu aikaisemmin, mutta niiden puustotiedot on kasvatettu laskentaohjelmalla vuoteen 2013 vertailua varten.

Valitut mikrokuviot ovat pinta-alaltaan pääasiassa 0,3–1,4 hehtaaria. Kehitysluokiltaan kuviot ovat olleet nuoria ja varttuneita kasvatusmetsiköitä sekä uudistuskypsiä metsiköitä. Mikrokuviolle oli sijoitettu 3–6 säteeltään yhdeksän metrin koealaa, jotka oli mitattu metsäkeskuksen käytössä olevan menetelmän mukaisesti. Näihin koealatietoihin Trestiman antamia tuloksia on kehittämisprojektissa verrattu. (Mäkinen 2014.)

Puuston tilavuusvertailussa Trestiman puustoarvio poikkesi yli 20 % koealamittauksen vastaavasta yhdeksällä kuviolla, kun vertailu tehtiin 28 mikrokuviota, joista oli tuoreet inventointitiedot. Kuudella kuviolla eroa on 15–20 %. Keskimäärin Trestiman antama tulos on 2,9 % pienempi kuin koealamittausten antama vertailuaineisto. (Mt.)

Puuston pohjapinta-alan vertailussa Trestiman antama tulos on keskimäärin 1,3 m²/ha pienempi (-3,4 %) verrattuna koealamittauksella saatuun pohjapinta-ala tietoon. Suurimmalla osalla kuviosta pohjapinta-alojen ero on suurempi kuin 3m²/ha. Suurimmillaan ero on 12,3 m²/ha, joka kyseisessä tapauksessa tarkoitti -40,1 % pienempää arvoa kuin vertailuaineisto. (Mt.)

Mäkisen (2014) kehittämisprojektissa ei löytynyt selittävää tekijää tulosten eroille verrattuna vertailuaineistoon. Trestiman antaman arvot olivat osalla kuviosta suurempia ja osalla pienempiä kuin koealamittauksilla saadut arvot. Puuston tilavuusarvoihin vaikuttaa puuston pituus ja se voi selittää osan eroista.

Sirviön (2014) ja Mäkisen (2014) selvitysten tulokset ovat osin ristiriitaisia. Sirviön testissä Trestimalla saatiin säännöllisesti liian suuria tilavuusarvoja, kun taas Mäkisen testissä osalla kuviosta tulokset olivat suurempia ja osalla pienempiä kuin vertailuaineisto. Kummankaan selvityksen pohjalta ei voida vetää

selkeitä johtopäätöksiä johtuen suhteellisen suppeasta aineistosta. Mäkisen selvityksessä todetaan, ettei Trestima sellaisenaan korvaa koelamittausta keilausaineiston laadunvalvonnassa. Kuitenkin kummassakin selvityksessä Trestimaa pidetään hyvin potentiaalisena menetelmänä, mutta kokemusta menetelmästä tarvitaan lisää.

RELASPHONE

Relasphone on VTT:n kehittämä älypuhelinsovellus, joka sisältää metsän mittaukseen tarvittavat työkalut: relaskoopin, relaskooppitaulukot ja hypsometrin. Relasphone on kehitetty metsän omatoimiseen arviointiin. Sovellus hyödyntää puhelimen omaa kameraa ja GPS-paikanninta. Kamerakuvassa on relaskooppihahlo, jota käytetään kuten tavallista relaskooppia. Sovellusta voidaan käyttää metsäkuvion puuston runkotilavuuden ja hinnan arviointiin. Kamerakuvassa näkyvän relaskooppihahlon avulla lasketaan eri puulajien runkoluku ja lisäksi syötetään tiedot metsäkuvion eri puulajien keskimääräisestä pituudesta. Eri puulajien keskimääräisen pituuden arviointiin voidaan käyttää sovelluksen sisältämää kulmamittaukseen perustuvaa korkeuden arviointityökalua. Relasphone-sovelluksen korkeusmittaustyökalu on suuntaa-antava. Sovellus laskee annetuista tiedoista puulajikohtaiset pohjapinta-alat ja antaa myös arvion puuston runkotilavuudesta. (Relasphone 2014; Riikilä & Korhonen 2014.)

Kulmamittaukseen perustuva puun pituuden mittaustoiminto toimii samalla perusteella kuin hypsometri. Pituuden mittauksessa sovellukseen määritetään aluksi etäisyys mitattavaan puuhun. Sen jälkeen näytöllä näkyvässä kameranäytössä oleva kohdistin suunnataan puun tyveen ja sen jälkeen latvaan. Sovellus rekisteröi kohdistuskulmat puun tyveen ja latvaan. Etäisyys- ja kulmatiedoista sovellus määrittää geometrisesti puun pituuden. Puun pituustieto ilmestyy puhelimen näytölle. (Relasphone 2014; Riikilä & Korhonen 2014.)

Yksittäiselle metsäkuviolle voidaan tehdä useita mittauksia ja kokonais-arvio kyseiselle metsäkuviolle lasketaan mittausten keskiarvona. Mitä enemmän mittauksia tehdään, sitä tarkemmat tiedot puustosta kyseiselle kuviolle saadaan. Mikäli käyttäjä syöttää sovellukseen puun hintatietoja, niin sovellus laskee myös arvion kyseisen metsäkuvion puuston kaupp-arvosta. Mittaustiedot tallentuvat laitteelle ja niitä on mahdollista täydentää myöhemmin. (Relasphone 2014.)

Relasphone on saatavilla ainoastaan Android-käyttöjärjestelmälle. Mittaustarkkuus ja tulokset ovat riippuvaisia käytetystä puhelintyypistä. Hyvä-

laatuinen näyttö ja kuvanvakain helpottavat sovelluksen käyttöä. Puuston pohjapinta-alan mittaaminen Relasphonella ei ole sen nopeampaa kuin perinteisellä relaskoopilla, mutta sovellus tallentaa mittaustulokset automaattisesti ja erillistä kirjaamista ei tarvita. Sovelluksella saadaan välittömästi arvio puustotiedoista. (Riikilä & Korhonen 2014.)

Relasphone-sovelluksen heikkoutena on huono mittaustarkkuus. Sovellus ei sellaisenaan sovellu ammattilaiskäyttöön, mutta esimerkiksi harrastelijalle se sopii suuntaa-antavien puustoarviointien tekemiseen. (Riikilä & Korhonen 2014.) Relasphone ei sovellu kunnostamattomien nuorten metsien puustotietojen mittaamiseen.

JOKAMIES-MENETELMÄ

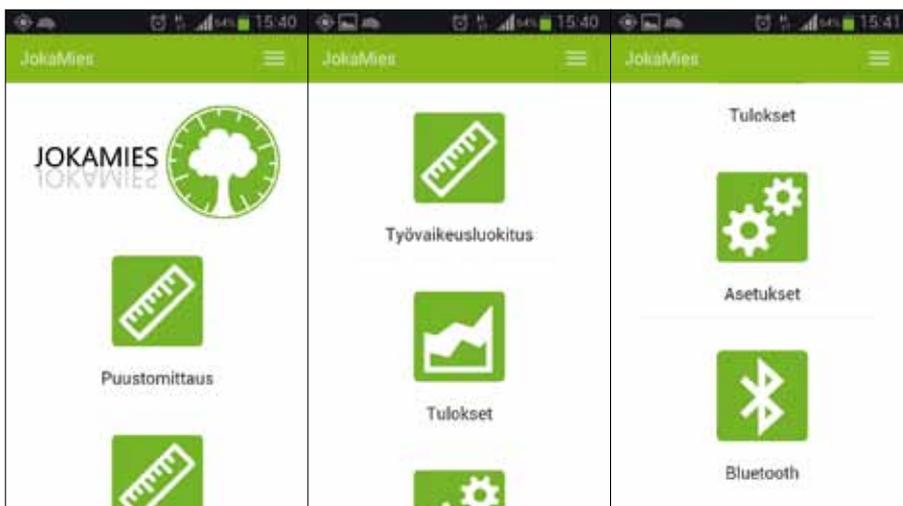
Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä -projektissa on kehitetty JokaMies-mobiilisovellus puuston inventointiin ja raivaustyön työvaikeusluokituksen määrittämiseen. JokaMies-mobiilisovellus on kehitetty HTML5-tekniikalla ja toimii tällä hetkellä Android ja Windows Phone 8 puhelimilla. Sovellus on tehty siten, että käyttöliittymä ja toiminnot ovat alustasta riippumatta pääosin samanlaiset.



Kuva 1. JokaMies-mobiilisovellus Android puhelimessa. (Kuva: Tanja Minkkinen, JAMK)

Perinteisten mekaanisten metsänmittausmenetelmien rinnalle on ollut tarvetta kehittää uusia työkaluja erityisesti tietojen keräämistä ja tallentamista varten. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset maasto-olosuhteisiin soveltuvat tabletti-tyyppiset maastotietokoneet. Olemassa olevien laitteiden huonona puolena on niiden korkea hinta. Älypuhelimien yleistyttyä, markkinoille on tullut niihin asennettavia maastossa käytettäviä puustomittaussovelluksia. Yksi tällainen mobiilisovellus on puustomittaukseen käytettävä JokaMies-sovellus. Älypuhelinsovellusten etuina on helppo saatavuus ja edullinen hinta. Huonoina puolina on useimpien älypuhelimien arkuus kosteudelle, heikko toimivuus viileässä säässä sekä akun kesto. Markkinoilta löytyy myös älypuhelinmalleja, jotka kestävät paremmin maasto-olosuhteita.

JokaMies-sovellus hyödyntää puhelimeen sisäänrakennettua GPS-paikannusta. Lisäksi voidaan hyödyntää Bluetooth-yhteyttä siirtämään mittaus-tulokset puhelimeen erilliseltä mittalaitteelta, kuten elektronisilta mittasaksilta tai laser-relaskoopilta. Sovelluksessa on puustomittaus (puuston inventointi) ja työvaikeusluokitus omina erillisinä toimintoina (Kuva 2).



Kuva 2. JokaMies-sovelluksen alkuvalikko Android -puhelimessa.

Sovellus lähettää mittaus-tulokset matkapuhelinverkon välityksellä JokaMies-metsävaratietojärjestelmään. JokaMies-metsävaratietojärjestelmä tukee Met-sätietostandardin mukaisia XML-kuviotiedostoja, jotka tulee ladata palvelimelle ennen mittauksia. Kuvassa 3 on nähtävissä periaatekuva JokaMies-tausta-järjestelmän tarjoamista palveluista käyttäjille.



Kuva 3. JokaMies-taustajärjestelmän tarjoamat palvelut käyttäjille. (Kuva: Samuli Lager)

Puustomittausta käytetään määrittäessä nuorten metsien kunnostustarvetta. Puut mitataan yksitellen ja mittaustulokset käsitellään sovelluksen avulla. Lämpimiltään yli 6 cm olevat puut voidaan mitata esimerkiksi elektronisilla mittasaksilla ja siirtää tulokset sovellukseen Bluetooth-yhteyden avulla. Toinen vaihtoehto on mitata puut ja syöttää tulokset sovellukseen manuaalisesti. Puhelin paikantaa puun sijainnin GPS:n avulla ja lähettää tiedot (rinnankorkeusläpimitta (d13), puulaji, paikka) kustakin puusta JokaMies-metsävaratietojärjestelmään. Puustomittauksessa valittavat puulajit ovat: mänty, kuusi, koivu, muu lehtipuu tai tuntematon. Lämpimittavaihtoehdot ovat: 6–8 cm, 8–10 cm, 10–12 cm, 12–14 cm ja 14–16 cm.

Työvaikeusluokitus-mittausta (Kuva 3.) käytetään apuna arvioitaessa raivaustyön vaatimaa aikaa ja raivaustyön palkkauksen työvaikeusmäärityksen perusteena. Työvaikeusluokitus tehdään ympyräkoealan avulla. Ympyräkoealan säde valitaan sovelluksessa kolmesta eri vaihtoehdosta, jotka ovat: 1,78 m,

2,52 m tai 4,99 m. Poistettavan, läpimitaltaan alle 6 cm risukon määrä laskeaan tai arvioidaan koelakohtaisesti. Tieto syötetään sovellukseen manuaalisesti. Lisäksi arvioidaan risukon keskimääräinen läpimitta kultakin koelalta asteikolla: 0–2 cm, 2–4 cm tai 4–6 cm. Puhelimen GPS paikantaa koelan ja tiedot lähetetään tietokantaan. Sovellus laskee tehtyjen mittausten perusteella poistuman ja määrittelee kuviolle työvaikeusluokituksen. Arvion tarkkuus paranee lisäämällä mitattujen koalojen määrää.



JokaMies

Alikasvoslaskenta

Alan säde
Säde 1.78 m
Määritä arvioitavan alan säde metreissä.

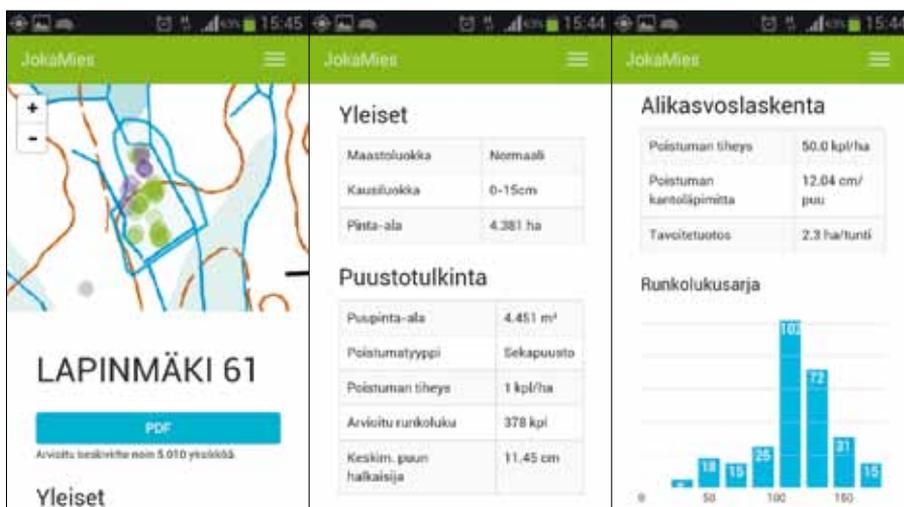
Risukon määrä
90
Arvioi risujen määrä alalla.

Risukon läpimitta
0-2 cm
Risukon keskimääräinen läpimittaluokitus alalla.

Lähetä

Kuva 3. Työvaikeusluokituksen käyttöliittymä

JokaMies-sovellus muodostaa jokaiselle metsikkökuviolle tulokortin (Kuva 4), josta löytyvät tiedot puustotulkinnasta ja työvaikeusluokituksesta. Puustotulkinta-kohdasta löytyvät tiedot kuvion pinta-alasta, puuston pohjapinta-alasta, arvioitu runkoluku sekä keskimääräinen puun rinnankorkeusläpimitta. Sovellus antaa tiedon puuston poistumatyypistä (puhdas männikkö, puhdas kuusikko ja havu-lehti sekapuusto) sekä poistettavan puuston runkoluvun/hehtaari. Työvaikeusluokitus-osio laskee kuvion työnvaikeusluokituksen, kun sovellukseen on syötetty koelaitteita alle 6 cm läpimittaisten puiden määrä sekä keskiläpimitta. Työvaikeusluokitusta käytetään raivaukseen tarvittavien työtuntien määrän ja sitä kautta raivauksen hinnan arvioinnissa.



Kuva 4. JokaMies-sovelluksen tulostulokortti.

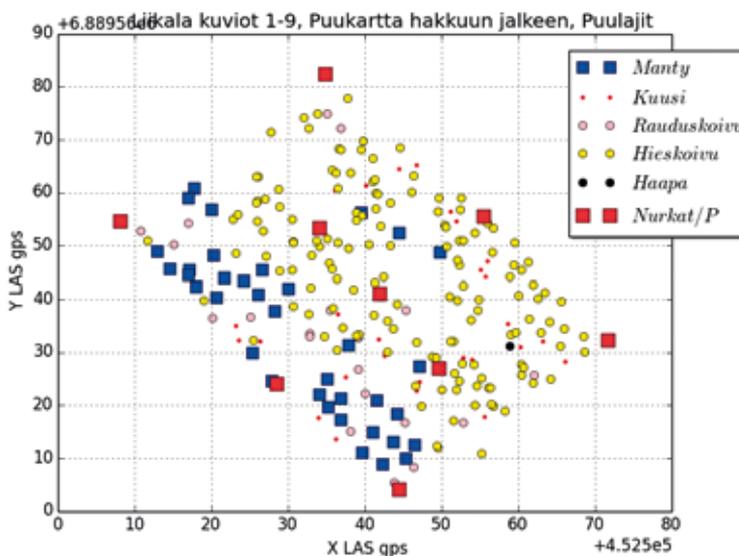
JokaMies-mobiilisovellus on tarkoitettu metsämattilaisten lisäksi erityisesti metsänomistajille kustannustehokkaaksi metsänmittaustyökaluksi. Sovellus on suunniteltu kunnostamattomien nuorten metsien hoidon tarpeen sekä puuston poistumatyyppien arviointiin. Lisäksi sovelluksella voidaan tehdä työvaikeusluokituksen arviointia.

Sovelluksen etuja ovat mittaustiedon tallentuminen heti mittaustapah-tuman jälkeen palvelimelle. Sovelluksen etuna on, että se ohjaa mittausten tekemistä ja mittausta voidaan tehdä mobiililaitteen avulla. Näin mukana ei tarvitse kuljettaa erillisiä mittavälineitä. Sovellus antaa myös työvaikeusluokituksen koealojen otantakohtat. Näin voidaan varmistaa, että koealoja otetaan riittävä määrä ja tasaisesti työmaan eri osista, jolloin varmistetaan koealojen edustavuus ja riittävyys. JokaMies-sovelluksen avulla kunnosta-mattomissa metsissä ja taimikonhoitokohteilla tehtyjen mittauksien tulok-sia voidaan käyttää esimerkiksi tarjouslaskennan ja palkan muodostumisen perusteena.

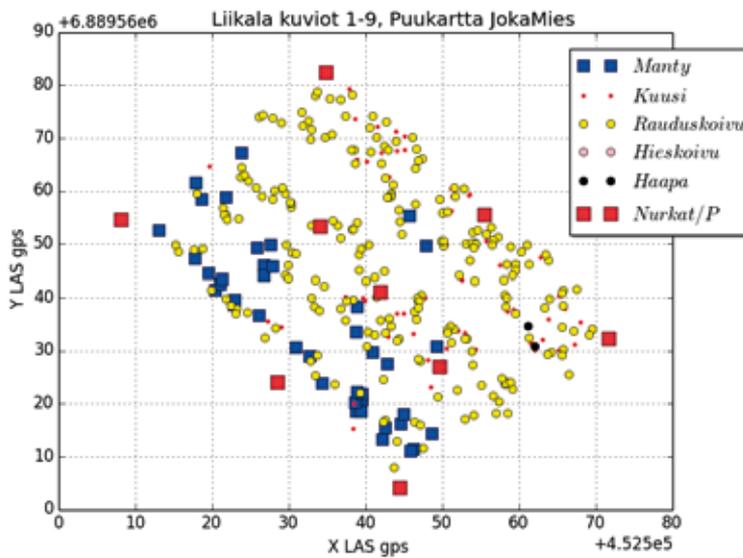
JokaMies-sovelluksen käytettävyys maasto-olosuhteissa vaatii vielä joiltakin osin lisää kehittämistä. Käytettävyyden ja sovelluksen ohjaavuuden paran-tamisen jälkeen sovellus sopii hyvin maastotallennuksen apuvälineeksi. Lisäksi sovellusta voitaisiin käyttää esimerkiksi puuston puulajisuhteiden laskemi-seen. Metsäpalveluryttäjät ja ryttäjämetsurit voisivat käyttää sovelluksesta saatavia tietoja tarjouslaskennan perusteena. Metsänhoitoyhdistyksissä olisi mahdollista käyttää sovellusta työmaatietojen siirtämiseen, tehtyjen työsuo-

ritteiden kirjaamiseen tietojärjestelmiin ja uusien työmaiden suunnitteluun. Sovellus toimii puustotietojen mittausvälineenä myös niillä, joilla ei ole vankkaa metsäalan ammattitaitoa ja kokemusta. Sovelluksen avulla voidaan vähentää puustotietojen arvioinneissa tapahtuvien virheiden määrää.

JokaMies-sovelluksen apuna käytettävän puhelimen oman GPS-anturin tarkkuus on käytännön testeissä osoittautunut olevan keskimäärin 3–4 metriä. GPS:n tarkkuus riippuu ympärillä olevasta puustosta. Liikalassa, Toivakassa suoritettiin testimittaus, jossa kuviolta mitattiin kaikki puut käyttämällä JokaMies-sovellusta ja siihen yhdistettynä Masser BT Caliper mittasaksia. (Kuva 5). Tuloksia verrattiin samalta kuviolta aikaisemmin suoritettuun Masser Sonar Caliper mittalaitteella suoritettuun yksin puin mittaukseen (Kuva 5). Mittaus-tulokset on esitetty puukarttina (Kuva 5 ja Kuva 6). Puiden paikannuksessa on eroja mittauksen välillä, mutta puuston tilajakauman ja määrän arvioinnin sekä käytännön työn kannalta esiin tulleet muutamien metrien poikkeamat eivät ole merkittäviä.



Kuva 5. Puukartta Masser Sonar Caliper -mittalaitteella mitattuna (Tiihonen 2014)



Kuva 6. Puukartta JokaMies-sovelluksella mitattuna (Tiihonen 2014)

JokaMies -sovelluksen tekninen kuvaus pohjautuu osittain hankkeessa julkaistuun opinnäytetyöhön:

Tiihonen, S. 2014. Lumia puhelimen jokamiehen metsäsovelluksen jatkokehitys ja koealakoheet. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Informaatioteknologian yksikkö. Jyväskylä.

TAULUKKO 1. Uusien ja kehitteillä olevien mittausmenetelmien vertailua:				
Mittausmenetelmä	Edut	Ongelmat	Soveltuvuus kunnostamattomille metsäkuvioille	Muuta huomioitavaa
Maalaserkeilaus (Terrestrial Laser Scanning, TLS)	Nopea, tarkka, mahdollistaa puutason puutavara-lajikohtaisten tilavuuksien ennustamisen. Hyvä puun läpimitan mittaamisessa ja runkolukusarjan mittauksissa.	Toistaiseksi laitteet ovat kalliita ja vaativat käyttäjältään paljon osaamista. Eivät vielä sovellu vaikeisiin maasto- taikka sääolosuhteisiin. Ei tunnista puulajeja. Osa puista jää katveeseen. Tarkka mittaus vaatii mittausta useasta pisteestä koealalla. Automaattisten mittausmenetelmien heikko mittaus-tarkkuus.	Eivät sovellu, koska keilaimelle vain suoraan näkyviä kohteita voidaan mitata.	Aktiivisen tutkimuksen kohde. Metsikkö-koealojen maalasermittausten automatisointia tutkitaan ja kehitetään parhaillaan.
JokaMies	Edullinen, helppo Tiedot tallentuvat välittömästi palvelimelle Sovellus ohjaa mittausten tekemisessä Mittaukset voidaan tehdä puhelimella, jolloin mukana ei tarvitse kuljettaa erillisiä mittavälineitä	Käytettävien laitteiden vaihteleva soveltuvuus maastokäyttöön (kosteudensieto ja akun kesto) Sovellus ei vielä ole valmis Maastokäyttöön tarkoitettujen valikkojen ja näkymien käytettävyyttä tulisi kehittää edelleen Runkolukusarjassa puulajit voisivat olla eriteltynä	Soveltuu kunnostamattomille kuvioille Soveltuu työn vaativuusluokituksen perusteen määrittämiseen	Vaatii kehittämistä edelleen Maastokäytettävyyteen kiinnitettävä huomiota esimerkiksi sovelluksen pudostusvalikkojen ja näkymien osalta
Trestima	Nopea, helppo käyttää.	Vähän tutkittua tietoa tarkkuudesta. Epätarkka pienillä kuvioilla.	Ei tiedossa	Erittäin potentiaalinen
Relasphone	Ilmainen, helpokäyttöinen.	Epäluotettava tarkkuus. Käytettävyyys ja tarkkuus eri puhelimelleilla	Ei sovellu	

LÄHTEET

Centre of Excellence in Laser Scanning Research 2014–2019. Viitattu 6.5.2014. [Http://www.fgi.fi/coelasr/index.html](http://www.fgi.fi/coelasr/index.html).

Kimmo, K. 2013. Kännykkäsovellus mittaa puuvarat valokuvan perusteella. Viitattu 29.4.2014. [Http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/cec7cec2f8d600cdc2256f6d0062e8cc/faaa2d81e60f4dbbc2257c0f002d4a85?OpenDocument](http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/cec7cec2f8d600cdc2256f6d0062e8cc/faaa2d81e60f4dbbc2257c0f002d4a85?OpenDocument).

Liang, X. 2013. Feasibility of terrestrial laser scanning for plotwise forest inventories. Suomen geodeettisen laitoksen julkaisuja.

Mäkinen, N. 2014. Mikrokuvioiden puumäärän arviointi – koealamittauksen ja Trestiman sovelluksen vertailu. Hämeen ammattikorkeakoulu. Paikkatietojen hyödyntäminen – oppisopimustyyppinen korkeakoulutettujen täydennyskoulutus, kehittämisprojektin raportti.

Relasphone – metsämittauksen mobiilisovellus. Viitattu 29.4.2014. [Http://www.relasphone.com/](http://www.relasphone.com/).

Riikilä, M. 2013. Älypuhelin mittaa metsän. Metsälehti 9.

Riikilä, M. & Korhonen, T. 2014. Älypuhelimella mittaamaan. Metsälehti makasiini 2.

Ronkainen, M. 2011. Maalaserista apua apteraukseen. <http://www.metsafi-lehti.fi/metsatalous/maalaserista-apua-apteraukseen>.

Sirviö, M. 2014. Trestiman mittaustarkkuuden testaus. Hämeenlinna, HAMK/EVO.

Tiihonen, S. 2014. Lumia puhelimen jokamiehen metsäsovelluksen jatkokehitys ja koealakokeet. Opinnäytetyö. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Informaatioteknologian yksikkö.

Vastaranta, M., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyyppä, H. & Hyyppä, J. 2009. Uudistuneet metsien maastomittaustarpeet. Metsätieteen aikakausikirja 4.

Vauhkonen, J., Kankare, V., Tanhuanpää, T., Holopainen, M. & Vastaranta, M. 2013. Puuston runkolukusarjan ja laatutunnusten mittaaminen kaukokartoituksella. Esiselvitys ja käytännön testi. Metsätehon raportti 223. Viitattu 29.4.2014. [Http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_223_Puuston_runkolukusarjan_ja_laaturunnusten_kaukokartoitus_jv_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_223_Puuston_runkolukusarjan_ja_laaturunnusten_kaukokartoitus_jv_ym.pdf).

PROJEKTIN JULKAISULUETTELO

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU / IT-INSTITUUTTI

Projektin aikana hankkeen toimeksiantamana syntyneitä opinnäytetöitä:

Beretta, M. 2003. Using image processing techniques for extracting trees from images. Jyväskylä. JAMK/ICT

Hemmilä, A. 2010. Metsän tiheyden mittaamisen ja metsän arvioinnin simulointi, Jyväskylä, JAMK/ICT

Tuominen, J. 2011. Uusien metsänmittausmenetelmien tekninen vertailu (Metsänmittausmenetelmän mobiilikäyttöliittymä), Jyväskylä, JAMK/ICT

Kumpulainen, J. & Pellikka, V. 2012. Puustotietokoneen mobiilisovellus (Lumia 800), Jyväskylä, JAMK/ICT

Lyytinen, M. 2012. RaceDash7, Windows Phone 7 -sovellus. Jyväskylä, JAMK/ICT

Katainen, H. & Mäkinen, T. 2013. Metsän panoraamakuvaus ja etäisyyslaser-sovellus Raspberry Pi -alustalle. Jyväskylä, JAMK/ICT

Hartikainen, T. 2013. Web-tekniikat ja mobiilikehitys (Metsän koealamittauksen mobiilisovellus jokamiehen menetelmä). Jyväskylä, JAMK/ICT

Tiihonen, S. 2014. Lumia puhelimen jokamiehen metsäsovelluksen jatkokehitys ja koealakoheet. Jyväskylä, JAMK/IT

Tammelin, J. 2014. Puun runkojen ja puulajien konenäköalgoritmit. Jyväskylä, JAMK/IT

Siren, H. 2014. Metsän kehitysluokkien tunnistus lentokonekeilausaineiston perusteella Python-ohjelmointina. Jyväskylä, JAMK/IT

MUITA KIRJALLISIA TUTKIMUSSELOSTUKSIA

Pietikäinen, K. 2014. Koivun klapien, koivun latvan ja rasiin kaadetun koivun kuivuminen, Jyväskylä.

HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU / EVO

Mannonen, A. 2007. Laserkeilattujen korkeusmallien vertailu ja käyttö virtausverkon laskennassa, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Kulha, P. 2009. Laserkeilauksen intensiteetti metsänhoitotarpeen arvioinnissa, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Lindberg, A. 2009. Laserpisteaineiston hyödyntäminen manuaalisessa ennakkokuviointissa, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Heikkilä, A. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen harvennustarpeen määrittämiseksi, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Mikkola, P. 2011. Laseraineistosta laskettujen puustotunnusten vastaavuus koealoilla – erojen esittely maastokuvilla, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Nieminen, A. 2012. Laserkeilauksella ja UAV-ilmakuvauksella tuotetun puustotiedon vertailu, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Laine, M. 2012. Laseraineistojen hyödyntäminen voimansiirtolinjojen lumi- ja tuulituhoriskien kartoituksessa, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Komulainen, A. 2012. Puuston tilavuuden ja pohjapinta-alan prosenttipistemallit, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Puputti, J. 2012. Vanajaveden Valteenjoen valuma-alueen virtausverkkojen mallinnus ja saatujen tuloksien soveltaminen paikalliseen metsänkäsittelyyn, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Kamppila, T. 2013. Laserkeilauksen luotettavuus taimikoissa, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Sirviö, M. 2014. Trestiman mittaustarkkuuden testaus, Hämeenlinna, HAMK/EVO

ERIKOISTUMISOPINNOT

Lamminaho, A. 2012. Koealamittauksen ajanseuranta Keski-Suomen metsäkeskuksessa, Paikkatiedonhallinnan erikoistumisopinnot, Hämeenlinna, HAMK/EVO

Mäkinen, N. 2014. Mikrokuvioiden puumäärän arviointi – koealamittauksen ja Trestiman sovelluksen vertailu. Hämeen ammattikorkeakoulu. Paikkatietojen hyödyntäminen – täydennyskoulutus, kehittämisprojektin raportti.

OPPIMATERIAALIT

Mustonen, J. 2012. Laserkeilaus puuston inventoinnissa, Hämeenlinna, HAMK – Evo

Viitala, R. 2013. ArcGIS 10.2 Tiedostotietokanta ja datasetit, Metsätalouden koulutusohjelma

Paikkatiedon oppisopimustyyppinen täydennyskoulutus, Hämeenlinna, HAMK – Evo

Viitala, R. 2013. Evo_Laserkeilaustutkimus.pdf, esittelymateriaali, Hämeenlinna, HAMK – Evo

OHJELMISTOJULKAISUT

Hartikainen, T. 2013. PhoneGap BluetoothPlugin julkaisu GitHubissa, JAMK/ICT

BLOGIKIRJOITUKSET, VERKKOJULKAISUT

Kuikka, T. 2014. Masser Sonar Caliperin suuntavirheiden korjaus, Jyväskylä, JAMK/ICT

Hartikainen, T. 2014. BluetoothPlugin for PhoneGap, Jyväskylä, JAMK/ICT

Tiihonen, S. 2014. Jokamies metsänmittaussovellus, Jyväskylä, JAMK/ICT

KIRJOITTAJAT

Raito Paananen, metsätietopäällikkö
Suomen Metsäkeskus

Riitta Pellinen, projektityöntekijä
Metsänhoitoyhdistys Keski-Suomi ry.

Kalevi Pietikäinen, lehtori
Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiayksikkö

Tapani Sauranen, projektipäällikkö
Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiayksikkö

Varpu Savolainen, asiantuntija
Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiayksikkö

Risto Viitala, lehtori
Hämeen ammattikorkeakoulu, EVO

Petteri Weckström, projektipäällikkö
Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiayksikkö

Olli Väänänen, lehtori
Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Teknologiayksikkö

IN MEMORIAM

VESA KANKAANPÄÄ (22.1.1964–22.4.2014)

Vesa Kankaanpää toimi Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä – hankkeen toteutuksessa sekä yksityismetsänomistajia edustavana osapuolena että ohjausryhmän jäsenenä sen alusta alkaen. Hänen omistamansa Pyörkkilän tila oli yksi hankkeessa mukana olleista testikohteista.

Vesa oli mukana hankkeessa ja metsiin liittyvissä muissakin tehtävissä innostuneesti ja täydellä sydämellä. Milloin tahansa tarvittiin apua tai toimijaa oli hän valmis tarttumaan haasteisiin. Hänen positiivisuutensa, rauhallisuutensa ja ystävällisyytensä toivat yhteistyöhön mutkattomuutta ja helppoutta. Yhteistyön avulla saatiin aikaan uusia ja innovatiivisia, metsätaloutta hyödyttäviä tuloksia.

Pidimme hankkeen lehdistötiedotustilaisuuden Vesan kotimetsissä vain päivä hänen kuolemansa jälkeen, tietämättä tuolloin hänen poismenostaan. Joimme nokipannukahvit ja kaipasimme häntä joukkoomme sekä ystävänä että yhteistyökumppanina. Ehkäpä hän olikin joukossamme, tapansa mukaan tyyneesti myhäilevänä ja sympaattisena. Hankeyhteisömme koki syvää surua Vesan yllättävän kuoleman johdosta.

*”Minä soutelen selvää merta,
Vaan rannalle tahdon ma kerta;
Minä etsiä tahdon sen siimespuun,
Jonka suojassa ennen paisteessa kuun
Ma lauloin lapsena kerta!
Se puu, se on laidassa kotoisen korven,
Kas, siellä mä laitan tuohisen torven,
Kas, siellä mä laulan ja soitan!”*

Riitta Pellinen

Kirjoittaja on Vesan pitkäaikainen yhteistyökumppani

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN Julkaisuja



MYYNТИ JA JAKELU

Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjasto
PL 207, 40101 Jyväskylä
Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä
Puh. 040 865 0801
Sähköposti: julkaisut@jamk.fi
www.jamk.fi/julkaisut

VERKKOKAUPPA

www.tahtijulkaisut.net



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU

PL 207, 40101 Jyväskylä
Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä
Puh. 020 743 8100
Faksi (014) 449 9700
www.jamk.fi

AMMATILLINEN OPETTAJAKORKEAKOULU

HYVINVOINTIYKSIKKÖ

LIIKETOIMINTA JA PALVELUT -YKSIKKÖ

TEKNOLOGIAYKSIKKÖ

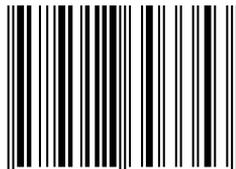


Metsien inventoinnissa ollaan siirtymässä entistä vahvemmin kaukokartoituspohjaisiin menetelmiin, kuten laserkeilaukseen. Haasteellisia ja tärkeitä inventointikohteita ovat mm. tiheät ja kunnostamattomat nuoret metsät, joissa optisin menetelmin tuotettu puustotieto ei ole tarpeeksi tarkkaa.

Euroopan maaseuturahaston osarahoittaman ”Metsävaramittaus kunnostamattomissa metsissä 2011–2014”-projektin tarkoituksena on ollut metsävaratietojen mitaamisen ja hyödyntämisen kehittäminen erityisesti kunnostamattomissa metsissä energiapuun korjuun tarpeisiin siten, että koealamittauksilla ja lentokeilauksella kartoitetut metsävaratiedot täydentävät toisiaan kehittyneillä menetelmillä. Metsänhoitoyhdistysten sekä metsänomistajien näkökulmasta puolestaan keskeistä on ollut kehittää työkalu korjuutyön määrän ja työvaikeuden arvioimiseksi työlajeittain.

Tässä raportissa olemme koonneet projektin tulokset laseraineiston suoratulkintamenetelmän sekä JokaMies-mobiilisovelluksen kehitystyöstä.

ISBN 978-951-830-335-3



9 789518 303353 >