

olivat 23,3–28,3 % (pohjoisessa ja etelässä 25,9 %) ja 21,9–29,0 % (pohjoisessa 27,7 % ja etelässä 24,8 %). Myös keskimääräiset erot lähenivät nollaa. Kalibroidun tilavuusmallin MD vaihteli $-2,3-3,9\%$:n (pohjoisessa 3,0 %, etelässä 1,2 %) ja biomassamallin $-2,8-4,3\%$:n (pohjoisessa 2,5 %, etelässä 1,4 %) välillä. Valtapituusmallien kohdalla kalibroinnilla ei ollut suurta vaikutusta, sillä ennusteet olivat pääsääntöisesti hyviä jo ennen kalibrointia.

Laserkeilausaineistosta johdetut tunnuksat pystyvät kuvaamaan tilavuutta ja biomassaa melko hyvällä tarkkuudella huolimatta inventointialueiden välisistä metsien rakenteellisista vaihteluista. Yleisen valtapituusmallin ennusteet olivat lähes jokaisella alueella verrattavissa aluekohtaisten mallien tuloksiin. Myös eri keilainyksilöt vaikuttavat ennusteisiin, mutta niiden vaikutusta on erittäin vaikea ottaa huomioon. Ennusteet todennäköisesti paranisivat, jos mallit luotaisiin jokaiselle keilainyksilölle erikseen. Yleisten tilavuusmallien ennusteet olivat verrattavissa relaskoopiperusteiseen kuvioittaiseen arviointiin (jossa tilavuuden RMSE noin 25 %). On kuitenkin huomioitava, että yleisten mallien RMSE ja MD tulisivat todennäköisesti pienemmäksi, jos yleisten mallien ennusteet yleistettäisiin kuviotasolle. Näin ollen yleiset mallit voisivat tuottaa jopa tarkempia ennusteita kuin perinteisellä kuvioittaisella arvioinnilla voidaan saavuttaa. Metsien rakenteesta ja keilainyksilöiden välisistä eroista johtuvia virheitä voidaan kuitenkin korjata helposti muutaman päivän koealamittauksilla paikallisen kalibroinnin avulla. Tulosten mukaan yleisen mallin kalibrointi onnistuneella koealakombinaatiolla voi tuottaa jopa tarkempia ennusteita kuin aluekohtainen malli.

■ Eetu Kotivuori, Lauri Korhonen & Petteri Packalen, Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto, Joensuu
Sähköposti: eetu.kotivuori@uef.fi

Jouni Siipilehto, Harri Lindeman, Mikko Vastaranta, Xiaowei Yu ja Jori Uusitalo

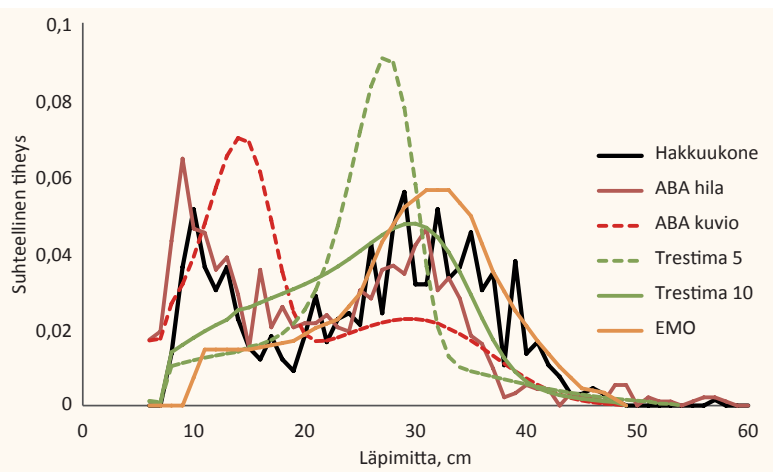
Päätihakkuukuvioille arvioidun puuston rakenteen luotettavuus laserkeilaus-tulkinnalla, *Trestima*-mobiilisovelluksella ja *EMO*-ennakkomittausohjelmistolla

Seloste artikkelista: Siipilehto, J., Lindeman, H., Vastaranta, M., Yu, X. & Uusitalo, J. (2016). Reliability of the predicted stand structure for clear-cut stands using optional methods: airborne laser scanning-based methods, smartphone-based forest inventory app *Trestima* and pre-harvest measurement tool *EMO*. *Silva Fennica* 50(3), article id 1568.

<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1568>

Hakkuukohteiden puutavaralajien tarkka tunteminen auttaa optimoimaan leimikoiden korjuuohjelman ja allokoimaan puut eri puutavaralajeihin ja lopputuotteisiin. Puutavaralajien tilavuudet voidaan johtaa läpimitta-pituusjakaumasta, joka puolestaan ennustetaan yleisimmin metsikkökuvion puustotunnusten perusteella. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla ennakkoinventointivaihtoehtojen tarkkuutta päätihakkuupuustolle. Tutkitut menetelmät olivat aluepohjainen laserkeilaustulkinta (*Area Based Approach*, *ABA*), *Trestima* Oy:n mobiilisovellus ja hakkuukohteen ennakkomittausohjelmisto, *EMO*. Ennustettuja läpimitta-pituusjakaumia ja niistä laskettuja puusto- ja tilavuustunnuksia verrattiin hakkuukoneen rekisteröimistä runkokäyräaineistoista laskettuihin vastaaviin tunnuksiin.

Aineistona tutkimuksessa oli 7 päätihakkuukuviota Hämeenlinnan ympäristössä. Kuviot olivat pääasiassa järeitä, keskiläpimitaltaan yli 30 cm mäntyvaltaisia leimikoita, joissa oli myös kuusi- ja koivusekapuustoa. Kuvion keskitilavuus oli 340 m³/ha, josta tukkia oli 270 ja kuitupuuta 70 m³/ha.



Kuva 1. Esimerkki kuvion 5 suhteellisista runkolukusarjoista. Hilaperusteinen laserkeilaustulkinta *ABA hila*, kymmenen kuvan tulkinta *Trestima 10* ja ennakkomittausohjelmisto *EMO* läpäisivät yhteensopivuustestin ja *EMO* tuotti parhaan testiäron. Viiden kuvan tulkinta *Trestima 5* tuotti liian huipukkaan jakauman verrattuna hakkuukoneen runkolukusarjaan. *ABA kuvio* -menetelmällä pieniläpimittaisen puuston jakauman huippu ei sopinut yhteen hakkuukoneen runkolukusarjan kanssa.

ABA perustui lentokoneesta kerättyyn laserkeilausaineistoon, jonka pulssitiheys oli 0,6 pulssia/m² ja 364 puittain mitattuun metsikkökoelaan. Puustotunnukset ennustettiin kohteille lähimmän naapurin menetelmällä, jossa lähin naapuri määritettiin ”random forest”-luokittelulla. Tässä tutkimuksessa yksi lähinaapurikoeala 364 mitatusta maastokoelasta vastasi kutakin 16 m × 16 m hilaa. *ABA*-menetelmällä tuotettiin ennusteet männyn, kuusen ja lehtipuuston pohjapinta-alasta, runkoluvusta, pohjapinta-alalla painotetusta keskiläpimitasta ja pituudesta kullekin hilalle (*ABA hila* -menetelmä). Lisäksi tarkasteltiin vaihtoehtoa, jossa hilatason puustotunnukset yhdistettiin perinteisiksi kuviotunnuksiksi (*ABA kuvio* -menetelmä). *Trestima*-sovelluksella otettiin kustakin hakkuukohteesta 10 kuvaa (*Trestima 10*). *Trestiman* tuloksia tarkasteltiin lisäksi viiden kuvan otoksella (*Trestima 5*). Kuvilta tulkittiin relaskoopin toimintaperiaatteella puuston pohjapinta-ala, runkoluku ja keskiläpimitta. *EMO*-menetelmässä mitattiin viisi relaskoopikoealaa kultakin metsikkökuvilta. Kokonaispohjapinta-alan lisäksi mitattiin kuusi lähintä puuta (30 puuta/metsikkö). Lähipuuden mittausten perusteella kokonaispuustoa kuvaava pohjapinta-ala jaettiin puulajiryhmiin.

Runkolukusarjat ennustettiin kuviolle puustotunnuksista parametrien palautuksella sekä *ABA*- että *Trestima*-menetelmissä. *EMO*-menetelmässä runkolukusarjat tuotettiin puulajiryhmittäin (mänty, kuusi ja lehtipuut) kernel-tasoituksella, joka mahdollisesti epäsuorasti vaikuttaa jakauman muodon. Ennustetuista

jakaumista laskettiin puutavaralajien tilavuudet puulajeittain. Ennustettujen puusto- ja tilavuustunnusten luotettavuutta arvioitiin harhan ja keskineliövirheen neliöjuuren avulla. Lisäksi kuvion kokonaispuuston runkolukusarjoille tehtiin kaksi jakaumien yhteensopivuustestiä. Menetelmien paremmuutta arvioitiin kaikkiaan 70 eri luotettavuustunnuksen yhdistelmänä.

ABA hila ja *Trestima 10* olivat yleisesti tarkimpia menetelmiä läpimitta-pituusjakaumien ennustamiseksi. Aluepohjaisessa laserkeilausmenetelmässä jakaumat tuli ennustaa kullekin hilalle ja yhdistää sitten kuviotasolle, jotta voitiin tuottaa myös kaksi- tai useampihuippuisia runkolukusarjoja puulajeittain. Kun hilatason puustotunnukset yhdistettiin kuviotasolle (*ABA kuvio*), lopputulos ei ollut yhtä tarkka (ks. kuva 1). *Trestima*-sovellusta käytettäessä tulkittujen kuvien määrä vaikutti oleellisesti tuloksiin. *Trestima 5*-menetelmän viiden kuvan otos osoittautui riittämättömäksi luotettavien tulosten aikaansaamiseksi. *EMO*-menetelmä tuotti tarkimpia tunnuksia männylle, mutta se oli huomattavan epätarkka kuusi- ja lehtisekapuuston ennustamiseksi. *ABA hila* -menetelmä oli luotettava sekä puustotunnusten että runkolukusarjojen osalta. Jos ajantasaista laserkeilausinformaatiota on tarjolla, tuloksia voidaan tarkentaa vaihtoehtoisilla menetelmillä hyvin rajoitetusti.

■ Jouni Siipilehto, Luke, Vantaa
Sähköposti jouni.siipilehto@luke.fi