

LASERKEILAUUS SUOMEN METSIEN INVENTOINNISSA

Kari T. Korhonen

Metsäntutkimuslaitos, Valtakunnan metsien inventointi
kari.t.korhonen@metla.fi

TIIVISTELMÄ

Suomessa on kaksi metsien inventointijärjestelmää: koko maan kattava valtakunnan metsien inventointi (VMI) ja yksityismetsät osittain kattava suunnitteluinventointi. VMI:n tehtävänä on tuottaa seuranta-tietoa koko maan ja metsäkeskusten tasolla puuston määrästä, kasvusta, metsien hakkuumahdollisuuksista, toimenpidetarpeista, terveydentilasta ja monimuotoisuudesta. Suunnitteluinventointien tehtävänä on tuottaa tilakohtaisia lähimmän 10-vuotiskauden metsäsuunnitelmia, joissa osoitetaan metsänomistajan tavoitteet toteuttavat toimenpidetarpeet ja niiden sijainti. Ilmasta tehtävällä laserkeilauksella on tutkimuksissa saatu puustotunnusten arvioinnissa hyviä tuloksia, ja metsäsuunnittelussa ollaankin siirtymässä laserkeilaukseen inventointiin. Käytännön mittakaavaan siirtyminen näyttää kuitenkin vielä sisältävän ongelmia mm. aineistojen saatavuudessa. Otantapohjaisissa inventoinneissa laserkeilauksella voitaisiin jo nykytekniikalla tuottaa kustannustehokkaasti puustoa tehokkaasti osittavaa tietoa yhtenä otannan vaiheena.

Avainsanat: metsän inventointi, valtakunnan metsien inventointi, metsäsuunnittelu, laserkeilauus

1. METSÄN INVENTOINTIJÄRJESTELMÄT SUOMESSA

1.1 Valtakunnan metsien inventointi

1.1.1 Valtakunnan metsien inventoinnin tavoite

Suomessa on 1920-luvulta lähtien seurattu metsien tilaa valtakunnan metsien inventoinneilla (VMI). Inventointien perimmäisenä tarkoituksena on tuottaa valtakunnantason ja maakuntatason tilastotietoa metsiemme puuston määrästä, kasvusta, metsien hoitotarpeista ja hakkuumahdollisuuksista, metsien terveydentilasta ja biologisesta monimuotoisuudesta. Keskeiset vaatimukset tiedolle ovat luotettavuus ja vertailtavuus aiempiin tietoihin.

VMI:n tuottamaan metsävaratietoa tarvitaan ensisijaisesti metsäpolitiikan suunnitteluun. Metsävaroilla ja niihin liittyvillä elinkeinoilla on Suomessa ollut poikkeuksellisen suuri merkitys kansantaloudelle. Metsien ja metsätalouden kansantaloudellinen merkitys on viime vuosikymmeninä supistunut, mutta metsäteollisuustuotteiden viennin arvo on edelleen noin 20 % koko viennin arvosta. Metsävarojen kansantaloudellisen merkityksen vuoksi metsien puumäärän, kasvun ja kehityksen tuntemusta pidetään tärkeänä. VMI:n tuottaman tiedon pohjalta on suunniteltu mm. kansallinen metsäohjelma 2010 (KMO) ja sen päivitys. KMO:ssa on asetettu tavoitteeksi mm. puuvarojen käytön lisääminen vuosittain 10 – 15 miljoonalla kuutiometrillä, tavoitteen taustalla on VMI:n tuottama tieto siitä, että metsävarojen puolesta tällainen lisäys on mahdollinen. KMO:ssa on asetettu tavoitteita myös metsien hoidon tasosta, taustalla on VMI:n tuottama tieto metsien metsänhoidollisesta tilasta.

Alueellisella (metsäkeskus)tasolla VMI-tietoja käytetään mm. alueellisten metsäohjelmien laadintaan vastaavalla tavalla kuin koko maan tasolla. Lisäksi yksityismetsätaloutta valvovat

ja edistävät metsäkeskukset ja metsänhoitoyhdistykset käyttävät VMI:n tuottamaa tietoa metsien tilasta oman toimintansa suunnitteluun.

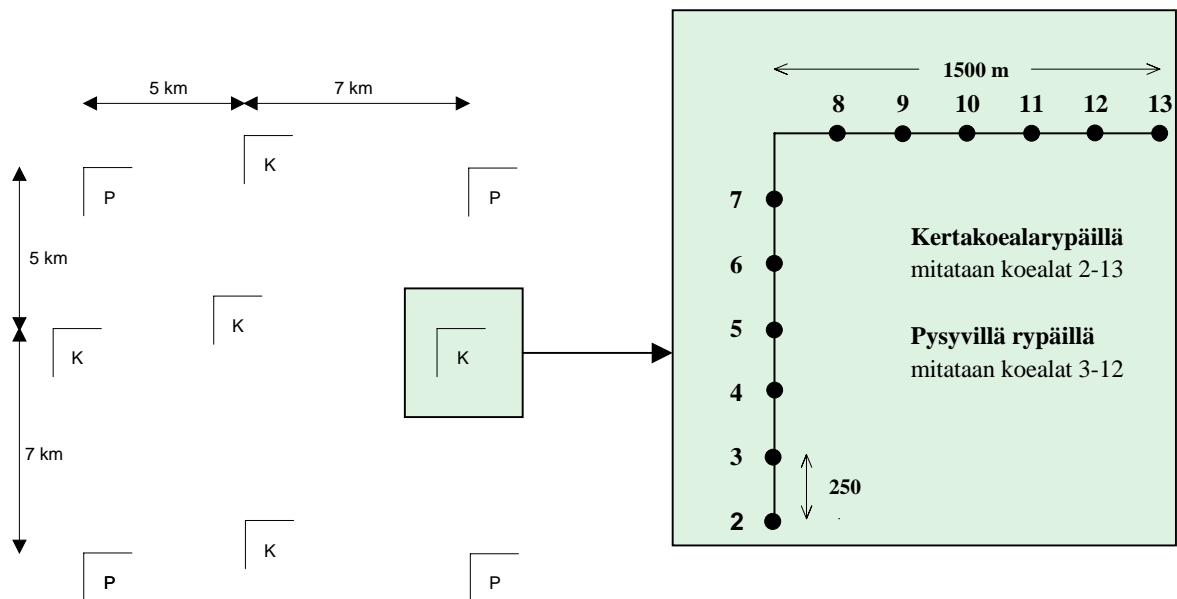
VMI:n tuottamaa tilastotietoa käytetään myös kansainvälisten sopimusten ja sitoumusten edellyttämiin raportointeihin, merkittävimmät näistä ovat FAO:n maapallon kattava metsävara-raportti (FRA) ja YK:n ilmastosopimuksen mukainen maankäyttöön ja maankäytön muutoksiin liittyvä kasvihuonekaasujen raportointi. Metsäteollisuus on käyttänyt VMI:n tuottamaa metsävara- ja hakkuumahdollisuustietoa investointien suunnitteluun. Viime aikoina kiinnostus hakkuumahdollisuuksiin on ollut erityisen suuri Venäjän puuntuontiongelmien vuoksi. Perinteisen ainespuun lisäksi bioenergiavarat ovat viime vuosina kiinnostaneet niin yrityksiä kuin julkistakin sektoria.

1.1.2 Valtakunnan metsien inventoinnin toteutus

Ensimmäisestä inventoinnista lähtien VMI:t ovat pohjautuneet tilastolliseen otantaan. Tämä on ainoa keino luotettavien ja ennen kaikkea luotettavuudeltaan arvioitavissa olevien tulosten hankintaan. Ensimmäiset VMI:t toteutettiin linja-arviointeina, sittemmin linjoista on luovuttu ja siirrytty ryvästettyyn systemaattiseen otantaan. Maastossa mittavat otoskoealat on ryvästetty 10 – 14 koealan rypäisiin, jotka on sijoitettu systemaattisesti läpi otosalueen. Ryvästyksen tarkoitus on luoda otoskoealoista työkokonaisuuksia, jotka pystytään mittaamaan yhden työpäivän aikana. Otokoko on suunniteltu sellaiseksi, että kunkin metsäkeskuksen alueen keskeiset metsävaratunnukset tulevat arvioiduksi alle 5 %:n otantavirheellä. Otosasetelma (rypäiden koko ja muoto, rypäiden ja koealojen välimatka) vaihtelee alueittain metsien rakenteen ja tieverkon tiheyden mukaan (taulukko 1). Kuvassa 1 on havainnollistettu eteläisimmässä Suomessa sovellettavaa otanta-asetelmaa.

Alue	Rypäiden keskimääräinen välimatka	Rypään muoto	Koealojen väli rypäessä	Koealojen määrä rypäessä (pysyvässä rypäessä)
Eteläisin Suomi ¹⁾	6 x 6 km	Suorakulma	250 m	12 (10)
Väli-Suomi	7 x 7 km	Suorakaide	300 m	14 (14)
Pohjois-Suomen eteläosat	7 x 7 km	Suorakulma	300 m	12 (11)
Lappi	10 x 10 km	Suorakulma	300 m	12 (11)
Ylä-Lappi ²⁾	Ositteesta riippuva	L	450 m	-

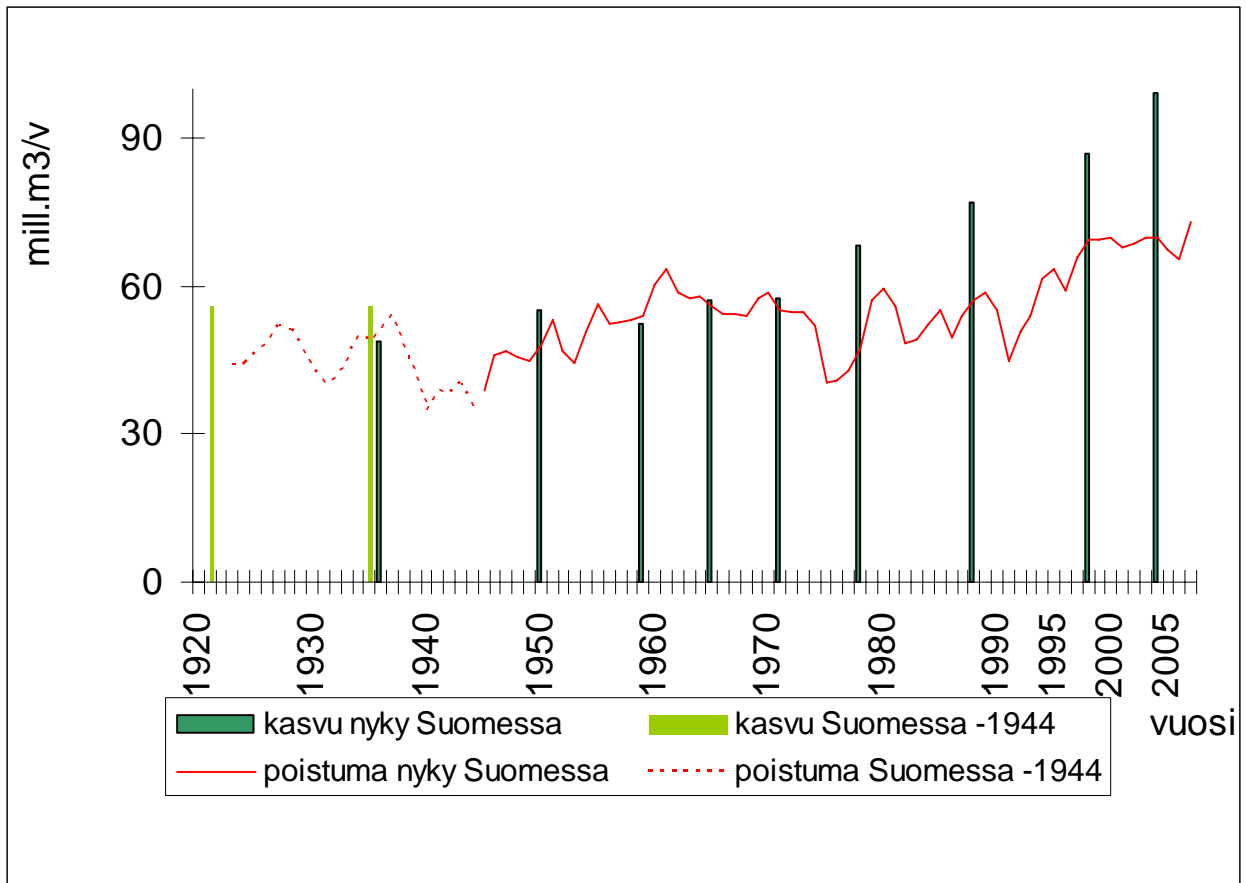
Taulukko 1. VMI10:n otanta-asetelma eri osissa maata.¹⁾ Ahvenanmaalla otostiheys kaksinkertaistettu. ²⁾Ylä-Lapissa käytetään VMI9:n aineistoa.



Kuva 1. VMI10:n otanta-asetelma eteläisimmässä Suomessa. *K* = kertakoealarypäs, *P* = Pysyvä rypäs.

Valtakunnan metsien inventointeja on toteutettu noin kymmenen vuoden välein, kymmenes VMI (VMI10) on maastotöiden osalta päättynyt tänä vuonna. VMI10 toteutettiin vuosien 2004 – 2008 aikana, kun aiemmat inventoinnit ovat kestäneet 8 – 10 vuotta. Toinen merkittävä muutos VMI10:ssä on, että otoskoealoja on mitattu koko maassa joka vuosi (poislukien Ahvenanmaa, jonka koealat mitattiin kaikki vuonna 2007, ja Ylä-Lapin kolme pohjoisinta kuntaa, joissa käytetään VMI9:n aineistoa). Aiemmat inventoinnit ovat edenneet alueittain, yksi tai kaksi metsäkeskusta vuosittain. Uuden otantajärjestelmän ja tehostetun organisoimisen ansiosta VMI10 on pystynyt tuottamaan ajantasaista tietoa koko maan metsien tilasta aiempaa nopeammin.

VMI:n tulosten laskennassa hyödynnetään Maanmittauslaitoksen tuottamia tietoja kunnittaisista maapinta-aloista. Yksittäisen metsäkeskuksen metsäpinta-ala estimoidaan laskemalla metsään osuneiden koealakeskipisteiden osuus maalle osuneista koealakeskipisteistä ja kertomalla suhdeluku alueen tilastoidulla maapinta-alalla. Puuston määrän arvio perustuu koealalta mitattuihin puihin ja niille malleilla estimoituihin tilavuuksiin. Puiden kasvun arvioinnissa käytetään puista mitattuja läpimitan ja pituuden kasvuja inventointia edeltäneeltä 5 vuotiskaudelta. VMI10:n vuosien 2004 ja 2005 maastoaineistoon perustuvat tulokset koko maan metsien puuston määrästä, kasvusta ja muista keskeisistä metsävaratiedoista julkistettiin kesällä 2006 (Korhonen et al. 2006). Metsäkeskussittaiset metsävaratiedot laskettiin kolmen vuoden otosaineistosta ja julkaistiin kesällä 2007. Kuvassa 2 on esitetty esimerkki VMI:n yhdestä keskeisestä tuloksesta, puuston kasvusta ensimmäisestä VMI:stä tuoreimpiin VMI10:n tuloksiin.



Kuva 2. Puuston vuotuinen kasvu (tolpat) eri inventointien mukaan ja puuston poistuma (murtoviiva) tilastojen mukaan 1920 - 2007.

1.1.3 Kaukokartoituspohjainen monilähdeinventointi

VMI:n koealaotos on riittävä arviomaan metsävaratunnukset alueille, joiden koko on vähintään noin 200 000 hehtaaria. Tätä pienemmillä alueilla otantavirhe voi erityisesti pienille laskeutumisille jäädä niin suureksi, että tulokset eivät ole käyttökelpoisia. Pienalueiden metsävaratilastojen tuottamiseksi Metsätutkimuslaitos on 1990-luvun alusta lähtien käyttänyt satelliittikuvatulkintaa VMI:n maastoaineiston ja karttatiedon tukemana (Tomppo et al. 1998). Kehitetyllä menetelmällä on tuotettu kunnittaisia metsävaratilastoja keskeisistä metsävaratunnuksista kuten puuston tilavuus puulajeittain ja puutavaralajeittain tai metsien pinta-ala ikäluokittain (Tomppo et al. 1998). Satelliittikuvatulkinnan avulla voidaan tuottaa myös kattavia metsävarakarttoja, joissa valitusta teemasta on estimaatti kartan jokaisella kuva-alkiolla. Monilähdeinventoinnin satelliittikuva-aineistona on käytetty yleisimmin Landsat satelliittikuva 25 m kuva-alkiokokoon käsiteltynä sekä vähäisemmässä määrin Spot- ja IRS-aineistoja.

Monilähdeinventoinnin tuottamia kunnittaisia metsävaratilastoja käyttävät useat metsäalan toimijat, mm. metsänhoitoyhdistykset ja metsäyhtiöt oman toimintansa suunnitteluun ja kohdentamiseen. Karttamuotoisia metsävaratietoja hyödynnetään metsäyhtiöissä hakkuumahdollisuuksien kohdentamiseen. Myös metsänhoitokohteiden paikantamista on tehty onnistuneesti metsävarakarttojen avulla (Pesonen et al. 2006).

1.2 Suunnitteluinventoinnit

Metsätalouden operatiivisessa suunnittelussa tarvitaan paikkaansidottua, riittävän luotettavaa tietoa metsävaroista ja toimenpidetarpeista. Tällaista tietoa on perinteisesti tuotettu metsäsuunnittelussa. Yksityismetsien osalta metsäsuunnittelua tekevät metsäkeskukset valtion ja metsänomistajien rahoituksella. Metsähallituksella ja metsäyhtiöillä on vastaavasti omat suunnittelujärjestelmänsä omien metsiensä osalta.

Metsäsuunnittelun tiedonkeruussa on perinteisesti käytetty kuvioittaista arviointia (Poso 1982). Suunniteltava alue kuvioidaan ilmakuvan avulla puustoltaan ja kasvupaikaltaan homogeeniseksi yksiköiksi, kuvioiksi. Kuvioille tehdään maastotyönä puusto- ja kasvupaikkatietojen arviointi. Otantaan perustuvasta VMI:stä poiketen suunnitteluinventointi tuottaa alueellisesti kattavaa metsävaratietoa niistä alueista, joilla suunnittelua tehdään. Suhteellisen tuore, korkeintaan 10 - 15 vuotta vanha, suunnitteluinventointitieto on noin 60 %:lla yksityismetsien alasta.

Metsäyhtiöt ja Metsähallitus ovat viime vuosikymmenien aikana kehittäneet metsävaratietojärjestelmänsä siten, että kerran inventoituja kuviotietoja pidetään jatkuvasti yllä (Korhonen 2002). Puuston vuotuinen kasvu lisätään kasvumallien avulla puustotunnuksiin. Hakkuin käsitellyillä kuvioilla hakkuun jälkeiset puustotiedot päivitetään metsävaratietokantaan. Yksityismetsissä vastaavaa ajantasaistusta ei ole tehty muutoin kuin yksittäisten kehittämishankkeiden yhteydessä (Hyvönen & Korhonen 2003, 2008).

Tiedonkeruun subjektiivisuudesta, heikosta kattavuudesta, ja ajantasaisuuden puuttumisesta johtuen metsäsuunnittelusta kerätystä tiedosta ei voida tuottaa käyttökelpoisia suuraluetilastoja eikä metsäsuunnittelun tiedonkeruu mahdollista metsien tilan seuranta suuraluetasolla.

2. LASERKEILAUKSEN MAHDOLLISUUDET INVENTOINNEISSA

2.1 Laserkeilaus ja valtakunnan metsien inventointi

VMI:n keskeinen tehtävä on tuottaa suuraluetason objektiivista ja luotettavaa tilastotietoa. Satelliittikuvatulkinnan kehittämisen myötä VMI on tuottanut tietoa myös kuntatasolle ja koko maan kattavaa metsävarakartta-aineistoa. VMI:n otannan suunnittelussa lähtökohtana tulee kuitenkin jatkossakin olla ensisijaisesti seurantatiedon tuottaminen. Tilastollisesta otannasta johtuen VMI:n tietotuotanto on edullista – yhden 5 vuoden inventointikierroksen budjetti on maastotöiden osalta noin 2 euroa metsähehtaaria kohden.

Ilmasta tehtävällä laserkeilauksella voidaan tehokkaasti osittaa metsiä puuston pituuden mukaan. Lähitulevaisuudessa laserkeilauksen lupaavin soveltamistapa VMI:ssä onkin toimia yhtenä otannan vaiheena. Osittamiseen riittää harvapulssinen aineisto otantakaistoittain tuotettuna. Koko maan kattava laserkeilaus VMI:n edellyttämässä aikataulussa ei ole tämänhetkiselä kustannustasolla perusteltua, eikä kokemusten mukaan myöskään nykyisillä keilauskapasiteeteilla edes välttämättä toteutettavissa.

Myös VMI-koealojen päivityksessä laserkeilauksella voi olla käyttöä. Aiempina vuosina maastossa mitattuja koealoja voidaan ajatella ajantasaistettavan havainnoimalla laserkeilauksella koealalla tapahtuneet muutokset. Tällaisen ajantasaistuksen kustannustehokkuus ja luotettavuus eivät nykytekniikalla ole riittävät, johtuen osittain siitä, että VMI:n koealat ovat pie-

niä relaskooppikoelaja ja sijaintitarkkuus ei ole riittävän hyvä GPS-paikannuksesta huolimatta (Maltamo et al. 2008).

2.2 Laserkeilaus ja suunnitteluinventoinnit

Metsäkeskukset ovat siirtymässä metsäsuunnittelun inventoinnissa laserkeilauspohjaiseen inventointiin. Uudessa suunnitellussa järjestelmässä metsävaratieto tuotettaisiin harvapulssisen laserkeilausaineiston tulkinnalla koeala-aineiston ja ilmakuvien avulla. Viime vuosina erityisesti Norjassa ja Suomessa on tehty runsaasti tutkimuksia ja pienialaisia testejä tämän kaltaisista inventointimenetelmistä. Luotettavuudeltaan vähintään maastoarvioinnin verosiin tuloksiin on päästy menetelmässä, jossa 16 m x 16 m hilaruuduille ennustetaan puustotunnukset hilan laserkeilauspiirteiden avulla. Ennustuksessa käytetään parametrisia malleja tai ei-parametrisia menetelmiä, jotka pohjautuvat inventointialueelta tarkasti paikannettuihin ja tarkasti mitattuihin maastokoealoihin. Koealojen kohdalta irrotetaan laserkeilausaineiston piirteitä, jotka parhaiten korreloivat koealan puustotunnusten kanssa. Maastoaineistoa hyödyntäen laaditaan puustotunnuksia (esim. tilavuus, pohjapinta-ala) ennustavat regressiomallit, joilla puustotunnukset voidaan estimoida koko keilausaineiston alueelle. Vaihtoehtoisesti on hyödynnetty ei-parametrista estimointia, jossa ei tarvita regressiomallien laadintaa. (Maltamo ym. 2008).

Edellä kuvatulla menetelmällä on saatu puuston määrän arvioinnissa hyviä tuloksia silloin, kun mitattu koeala-aineisto on tarkasti paikannettua ja inventointialueen erilaisia puustoja edustava. Metsäsuunnittelun keskeinen tehtävä on kuitenkin puustonarvioinnin ohessa tuottaa mielekäs, omistajan tavoitteita toteuttava metsänhoito-ohjelma lähimmille vuosille. Jos metsänomistajan tavoitteena on saada metsistä hyvä tuotos, metsäsuunnittelussa on pystyttävä paikantamaan kohteet, joissa taimikkoa on hoidettava, puustoa harvennettava tai puuston päätehakkuu olisi mahdollinen. Toistaiseksi laserkeilausaineistojen tulkinnalla ei ole pystytty tuottamaan luotettavia metsän käsittelyehdotuksia ilman erillistä maastotarkistusta.

Laserkeilausaineistojen hyödynnettävyyteen liittyviä ongelmia ovat myös aineistojen hankinnan epävarmuus ja hinta. Harvapulssinen, 0,5 – 1 pulssia per neliometriä sisältävä aineisto on viime vuosina tehdyissä testi-inventoinneissa maksanut 2 – 3 euroa per hehtaari. Kun hintaan lisätään ilmakuva-aineiston, koealamittausten, tulkinnan ja maastotarkistusten hinta, kustannus voi nousta suuremmaksi kuin esimerkiksi olemassa olevien kuvioittaisten maastotietojen ylläpito maastomittauksin. Viime vuosina tehdyissä suhteellisen pienialaisissa (20 000 – 30 000 hehtaaria) testeissä myös keilaus- ja ilmakuva-aineiston saatavuudessa on ollut säätilojen ja kuvauskapasiteetin aiheuttamaa epävarmuutta. Jos metsäsuunnittelun vuotuinen keilausaineiston tarve nousee noin miljoonaan hehtaariin, on keilauskapasiteetissa tapahduttava merkittävää kehitystä.

3. PÄATELMÄT

Valtakunnan metsien inventoinnin otantaa voitaisiin jo nykyisellä laserkeilaustekniikalla tehostaa käyttämällä laserkeilauskaistoja yhtenä otannan vaiheena. Tällainen inventointi ei tuottaisi kattavia metsävarakarttoja vaan ainoastaan parantaisi tilastomuotoisten otosestimattien luotettavuutta.

Kattavaan laserkeilaukseen perustuva inventointi on tutkimuksissa tuottanut tarkkoja puustotunnusten estimaatteja. Käytännön toiminnan tarvitsemassa mittakaavassa aineiston hankinta on edelleen ongelmallista. Ratkaisemattomia ongelmia ovat toistaiseksi lisäksi puulajin tunnistus, taimikkovaiheen puuston arviointi ja toimenpidetarpeiden arviointi laserkeilausaineistolla.

Laserkeilainten kehittyminen ja käytön laajeneminen voivat lähitulevaisuudessa parantaa laserkeilauspohjaisen inventoinnin kustannustehokkuutta. Kustannustehokkuuden parantamiseksi on tutkittu myös VMI:n koela-aineiston hyödyntämistä maastotukiaineistona (Maltamo et al. 2007, Maltamo ym. 2008). Koska VMI perustuu systemaattiseen otantaan, se ei takaa harvinaisiin puusto-ositteisiin pienillä alueilla riittävästi havaintoja. Tästä johtuen nykyisenkaltainen VMI-otos soveltuu keilausaineistojen tukiaineistoksi vain, jos tasalaatuista, samanaikaista keilausaineistoa on käytettävissä hyvin laajalta, useiden satojen tuhansien hehtaarien kokoiselta alueelta.

Kirjallisuus

Hyvönen, P. & Korhonen, K.T. 2003. Metsävaratiedon jatkuva ajantasaistus yksityismetsissä. Metsätieteen aikakauskirja 2/2003: 83-96.

Hyvönen, P. & Korhonen, K.T. 2008. Metsävaratiedon ylläpito metsäsuunnittelua varten. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 88. 38 s.

Korhonen, K.T. 2002. Metsäsuunnittelun tietohuollon käytäntö ja tutkimus. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002.

Korhonen, K.T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Pitkänen, J. & Tuomainen T. Suomen metsävarat 2004 – 2005. Metsätieteen aikakauskirja 1B/2006.

Maltamo, M., Korhonen, K.T., Packalén, P., Mehtätalo, L. and Suvanto, A. (2007). A test on the usability of truncated angle count sample plots as ground truth in airborne laser scanning based forest inventory. *Forestry* 80: 73-81.

Maltamo, M., Packalén, P., Suvanto, A., Korhonen, K.T., Mehtätalo, L., and Hyvönen, P. 2008. Combining ALS and NFI ground truth data for forest management planning – a case study in Kuortane, Western Finland. Käsikirjoitus. Joensuun yliopisto.

Pesonen, A., Korhonen, K.T., Tuominen, S., Maltamo, M. & Lukkarinen, E. 2007. Taimikonhoitotarpeen arviointi valtakunnan metsien inventoinnin metsävarakartan pohjalta. Metsätieteen aikakauskirja 2/2007: 77-86.

Poso, S. 1982. Kuvioittaisen arvioinnin perusteita. *Silva Fennica* 17:313 – 343.

Tomppo, E., Katila, M., Moilanen, J., Mäkelä, H. & Peräsaari, J. 1998. Kunnittaiset metsävaratiedot 1990 – 1994. Metsätieteen aikakauskirja 4B/1998.