

Jaana Luoranen ja Heli Viiri

## Maanmuokkaus vähentää tukkimiehintäin syöntiriskiä sekä kivennäismailla että turvemailla vuosi istutuksen jälkeen

Seloste artikkelista: Luoranen, J. & Viiri, H. 2012. Soil preparation reduces pine weevil (*Hylobius abietis* (L.)) damage on both peatland and mineral soil sites one year after planting. *Silva Fennica* 46(1): 151–161.  
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf461151.pdf>

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa tukkimiehintäin tuhoja turvemailla ja verrata niitä samaan aikaan uudistettujen kangasmaalla olevien uudistusalojen tuhoihin sekä pyrkiä tunnistamaan tukkimiehintäin tuhojen riskiin vaikuttavia tekijöitä turvemailla. Turvemaiden uudistusaloilla on joskus ollut suuria, lähes totaalisia tukkimiehintäin aiheuttamia tuhoja. Lähivuosina Suomessa on tulossa yhä enemmän ojitettuja turvemaakohteita uudistettaviksi, joten turvemaiden uudistusalojen tukkimiehintäintuhojen laajuudesta ja runsaudesta tarvitaan tutkittua tietoa. Kangasmaan kohteilta tiedetään, että taimen istuttaminen muokkaamattomaan maahan tai humuspintaisiin mätäisiin lisää tukkimiehintäintuhojen riskiä.

Tutkimusta varten etsittiin 30 kappaletta vuonna 2008 ja 30 kappaletta vuonna 2009 istutettua uudistusala Etelä- ja Pohjois-Savosta, Keski-Suomesta sekä Pirkanmaalta. Uudistusalat pyrittiin valitsemaan siten, että kangasmaan ja turvemaan kohteet sijaitsisivat pareittain suhteellisen lähellä toisiaan. Tutkimuksessa oli mukana turvemaakohteita 37 ja kangasmaakohteita 23 kappaletta. Kultakin uudistusosalta otettiin noin 10 ympyräkoelaa, joilta määritettiin taimikohtaisesti kasvupaikkatunnukset,

muokkausmenetelmä, istutuskohdan laatu, taimen kunto sekä oliko taimessa tukkimiehintäin tai myyrän syöntiä tai muita tuhoja. Koealampyrän säde oli 3,99 m. Myyrätuhot arvioitiin erikseen, koska talven 2008–2009 aikana myyräkannat olivat suuret ja myyrätuhoja pelättiin esiintyvän runsaasti.

Vuoden 2008 istutuksissa tukkimiehintäin tuhoja havaittiin 54 %:lla turvemaista ja 50 %:lla kangasmaista. Vuoden 2009 istutuksista tukkimiehintäin syöntiä oli 69 %:lla turvemaista ja 43 %:lla kangasmaista. Molemmat istutusvuodet huomioiden turvemaakohteista 60 %:lla esiintyi tukkimiehintäintuhoja, kun kangasmaakohteista 45 %:ssa oli havaintoja tukkimiehintäin aiheuttamasta syönnistä. Turve- ja kangasmaiden välillä ei ollut merkittävää eroa tukkimiehintäin aiheuttamassa syöntiriskissä. Myöskään puulaji, kasvupaikka, maalaji tai kivisyys eivät vaikuttaneet tukkimiehintäin aiheuttamaan syöntiriskiin.

Tukkimiehintäin tuhoja selittivät parhaiten hakkuun ja istutuksen väliin jäävät vuodet ja käytetty maanmuokkausmenetelmä. Istutuskohdan muokausjäljen laadun merkitys tukkimiehintäin tuhoihin oli oleellinen. Muokkaamattomalla turpeella ja kivennäismaalla tukkimiehintäin syönnin todennäköisyys oli suurempi kuin muokatussa maassa. Muokatulla turpeella syöntiriski oli hieman muokattua kivennäismaata suurempi. Muokkausmenetelmien välillä oli eroja syöntiriskissä: kääntömätästetyillä uudistusaloilla tukkimiehintäin syöntiriski erosi ojitusmätästys kohteiden syöntiriskistä. Laikkumätästettyjen ja laikutettujen uudistusalojen tukkimiehintäin syöntiriskit eivät poikenneet muista. Kääntömätästettyjen kohteiden suurempi tukkimiehintäin tuhojen riski tässä selvityksessä selittynee sillä, että näillä kohteilla suhteellisesti suurempi osuus taimista oli istutettu muokkaamattomaan pintaan kuin muilla menetelmillä. Vuoden 2008 istutuksissa myyrätuhoja oli 40 %:lla uudistusaloista. Myyrätuhot vaihtelivat alueellisesti niin, että niitä oli eniten Pohjois-Savossa (18 %:ssa taimia), mutta

Pirkanmaalla (1 %) ja Keski-Suomessa (3 %) myyrä-tuhoja oli vain muutamissa taimissa.

Istutuskohdan laatu vaikutti todennäköisyyteen, oliko taimi kuollut vai terve. Turvealustalla kuolleisuus oli hieman suurempaa kuin kivennäismaa alustalla riippumatta siitä, oliko taimi istutettu muokattuun vai muokkaamattomaan maahan. Uudistusalalla käytetty muokkausmenetelmä vaikutti kuolleisuuteen niin, että ojitusmätästetyillä kohteilla taimen todennäköisyys kuolla oli pienempi verrattuna muihin muokkausmenetelmiin.

Niin kangas- kuin turvemaillakin kunnollinen maanmuokkaus ja taimen istuttaminen muokkauksen jälkeen ovat tärkeimmät tukkimiehintäin tuhoja estävät tekijät. Istutuksen viivästyttäminen hakkuun jälkeen kaksi vuotta vähensi tukkimiehintäin syöntiriskiä, joskin sen vaikutus tukkimiehintäin tuhoriskiin oli vähäisempi kuin kunnollisen maanmuokkauksen. Tässä tutkimuksessa ei saatu eroja turve- ja kangasmaakohteiden välille tukkimiehintäin syöntiriskissä. Tukkimiehintäin tuhot vähenevät, jos laikkumättäiden pinnalle saadaan ohut kivennäismaakerros. Ohutturpeisilla kohteilla muokkauksen jälkeen pintaan kannattaa pyrkiä saamaan kivennäismaata, jos se vain on mahdollista. Taimien istuttaminen muokattuun turpeeseen vähentää myös tukkimiehintäin tuhoriskiä muokkaamattomaan pintaan istuttamiseen verrattuna, joskaan ei yhtä paljon kuin, jos pinta olisi kivennäismaata. Nyt toteutetussa selvityksessä tuhoja inventoitiin yhden kasvukauden jälkeen. Tukkimiehintäin tuhot voivat kuitenkin lisääntyä vielä muutaman seuraavan vuoden aikana. Kemiallisen torjunta-ainekäsittelyn antama suoja kuitenkin häviää ensimmäisen kesän aikana, joten tukkimiehintäin tuhojen selvittäminen esimerkiksi kolmen vuoden kuluttua istutuksesta antaisi lisätietoa tukkimiehintäin tuhojen aiheuttamasta kokonaistuhoriskistä turvemailla.

■ MMT Jaana Luoranen, Metla, Suonenjoki, MMT Heli Viiri, Metla, Joensuu  
Sähköposti jaana.luoranen@metla.fi, heli.viiri@metla.fi

Jyrki Hytönen ja Lasse Aro

## Koivikon biomassatuotos ja ravinnetalous suonpohjalla: 37 vuoden tuloksia

Seloste artikkelista: Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377–394.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf463377.pdf>

### Johdanto

**B**iomassan käyttöä energiantuotannossa ollaan edistämässä voimakkaasti Suomessa. EU on asettanut sitovaksi tavoitteeksi sen, että uusiutuvalla energialla tuotetun energian osuus nousee 20 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä energian loppukäytöstä laskettuna. Suomessa tavoitteena on kasvattaa metsähäkin käyttöä lämmön ja sähkön tuotannossa 13,5 milj. m<sup>3</sup>:iin vuoteen 2020 mennessä. Nykyään energiaksi korjataan avohakkuualoilta latvusmassaa ja kantoja sekä pienpuuta nuoren metsän kunnostuksissa ja ensiharvennuksissa. Energiaksi käytettävää puuta voidaan tuottaa myös metsänkasvatuksen päätuotteena, jolloin tavoitteena on biomassatuotoksen maksimointi melko lyhyellä kiertojallalla. Parhaiten energiakasvatukseen soveltuvat helposti uudistuvat ja nuorena nopeakasvuiset lehtipuut. Tuotoksen ja kannattavuuden maksimoimiseksi kasvatustiheys on suuri ja kiertoaika verraten lyhyt. Korjuun jälkeen energiapuut uudistuisivat vesomalla ilman muita lisätoimia.

Turvetuotannosta vapautuu suonpohjia lähes 3000 ha vuodessa. Suonpohjia luonnehtii verrattain ohut ja hapan turvekerros, jossa on korkea typpipitoisuus ja pienet fosfori- ja kaliumpitoisuudet. Suonpohjien metsityksessä voidaan siten kohdata ravinnetaloudellisia ongelmia ja puiden kasvu voi riippua lannoituksesta tai maanparannuksesta. Energiatuotannon jatkaminen suonpohjilla puumaisilla energiakasveilla voisi olla vaihtoehto ruokohelven viljelylle. Vaikka kotimaisten puulajien tuotostaso on pajuja alempi, ovat viljelmän perustamisen ja hoidon kustannukset sekä kasvatuksen riskit toisaalta pienem-

mät. Metsitys sitoisi myös ilmakehän hiiltä.

Tutkimuksissa selvitettiin luontaisesti syntyneen tiheän koivikon biomassatuotosta 37 vuoden ajan. Tutkimuksessa tarkasteltiin koivikon vesottumista ja ravinnetaloutta vertaamalla lannoittamattomia, PK- ja tuhkalannoitettuja koealoja.

## Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineisto koottiin tiheistä luontaisesti syntyneistä rauduskoivun (*Betula pendula*), hieskoivun (*Betula pubescens*) ja pajun (*Salix* spp.) muodostamista sekametsikoistä Kihniön Aitonevalta. Metsikkö oli syntynyt luontaisesti, kun turvetuotanto oli päättynyt 1960-luvun puolivälissä. Jäljelle jäänyt turvekerros oli keskimäärin 38 cm. Kun vuonna 1981 metsikköön perustettiin tutkimusta varten koealoja (koko 300–500 m<sup>2</sup>) puuston ikä oli noin 16 vuotta. Puuston mittauksen jälkeen kaikki puut yhdeksällä koealalla kaadettiin ja yhdellä koealalla jätettiin kasvamaan edelleen.

Avohakatuille koealoille perustettiin lannoituskoekolmena toistona. Käsitteilyt olivat lannoittamaton vertailu, PK-lannoitus (PK-lannoite 575 kg ha<sup>-1</sup>) ja puutuhka (5000 kg ha<sup>-1</sup>). PK-lannoituksessa annettiin fosforia 50 ja kaliumia 96 kg ha<sup>-1</sup>. Puutuhkassa vastaavat annokset olivat 108 ja 339 kg ha<sup>-1</sup>.

Koealoilta otettiin tilavuustarkat maanäytteet ravinnepitoisuuksien analysoimiseksi kerroksittain. Näytteistä määritettiin tuhkapitoisuus, pH, kokonaistyyppi sekä fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin kokonaisuudet ja happamaan ammoniasetaattiin uuttuvat määrät. Myös pohjamaan ravinnepitoisuudet ja maalaji määritettiin. Lehtien ravinnepitoisuudet analysoitiin vuosittain kahdeksan kertaa tutkimuksen aikana.

Avohakkuun jälkeen syntyneet vesat mitattiin ympäräkoeloilta kymmenen kertaa 21 vuoden aikana. Biomassakoepuut kaadettiin, mitattiin sekä oksat ja runko punnittiin maastossa. Näytteistä määritettiin ravinne- ja hiilipitoisuudet. Biomassaan sitoutuneet ravinteet laskettiin kertomalla pitoisuudet biomassaositteiden massalla. Puuston lehdetön maanpäällinen biomassa laskettiin koepuuaineistosta laadituilla allometrisillä biomassayhtälöillä.

## Tulokset

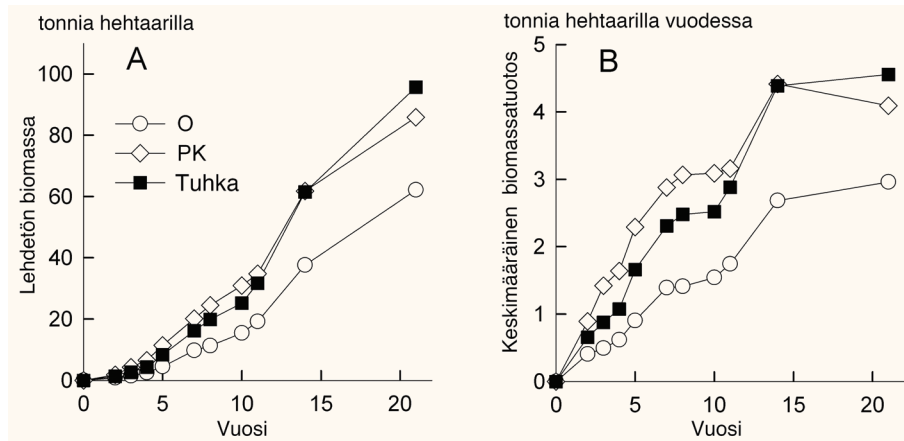
Kymmenen vuotta lannoituksesta otettujen maanäytteiden analyysin mukaan lannoitus vaikutti merkittävästi turpeen ravinnemääriin pintakerroksessa (0–5 cm). Tuhkalannoitus nosti turpeen pintakerroksen pH:ta 4,5:sta 5,5:een. Tuhka sisälsi enemmän ravinteita kuin PK-lannoite, ja tuhkan vaikutus näkyi myös maan P, K ja B määrien nousuna.

Lannoitus sekä PK:lla että tuhkalla lisäsi lehtien fosforipitoisuutta. Lannoituksen vaikutus pieneni tutkimusjakson loppua kohden eikä ollut enää merkittävä 21 vuoden tutkimusjakson lopussa. Lannoitus ei vaikuttanut lehtien typpi-, kalium-, magnesium- tai booripitoisuuksiin. Vuosien välinen vaihtelu lehtien ravinnepitoisuuksissa oli merkittävä. Lannoitus ei vaikuttanut merkittävästi koivun runkojen tai oksien ravinnepitoisuuksiin (N, P, K, Ca, Mg, B). Ravinnepitoisuudet oksissa olivat useimmiten yli kaksinkertaiset verrattuna runkojen ravinnepitoisuuksiin.

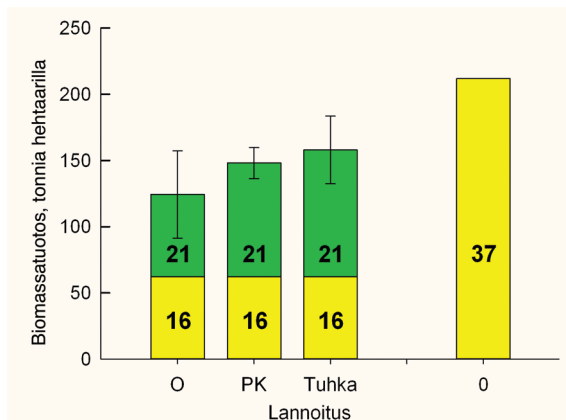
Kun 16 vuotta vanha koivikko avohakattiin, siinä oli keskimäärin 11 000 runkoa ha<sup>-1</sup> (rauduskoivua 69 %, hieskoivua 4 %, pajuja 27 %). Vesomisesta johtuen runkoluku kasvoi kaksi vuotta avohakkuun jälkeen 7-kertaiseksi (75 500 runkoa ha<sup>-1</sup>). Sen jälkeen runkoluku pieneni ja oli 8 700 runkoa ha<sup>-1</sup>, kun puuston ikä oli 21 vuotta. Puulajikoostumus oli myös muuttunut niin, että vallitseva puulaji oli nyt hieskoivu (rauduskoivu 11 %, hieskoivu 60 %, pajut 29 %). Käsittelemättömällä koeruudulla oli 37 vuoden iässä 4 100 runkoa ha<sup>-1</sup>.

Rauduskoivut olivat paksumpia ja pidempiä kuin hieskoivut. Lannoitus lisäsi tilastollisesti merkittävästi rauduskoivujen pituutta ja läpimittaa. Lannoitetut rauduskoivut olivat 1,2–2,5 m pidempiä ja 1,3–2,5 cm paksumpia kuin lannoittamattomat puut.

Ennen avohakkuutta 16-vuotiaan koivikon lehdetön maanpäällinen biomassa oli 62,3 t ha<sup>-1</sup>. Avohakkuun jälkeen vesojen annettiin kasvaa 21 vuotta (kuva 1). Toisella kiertoaajalla lannoittamattomien koealojen lehdetön maanpäällinen biomassatuotos oli 62,1 t ha<sup>-1</sup>. Lannoitus PK-lannoitteella ja tuhkalla lisäsi merkittävästi biomassatuotosta (23 t ha<sup>-1</sup> ja 33 t ha<sup>-1</sup>). Ensimmäisen 16 vuoden kiertoaajan aikana keskimääräinen vuotuinen lehdetön maanpäällinen biomassatuotos (MAI) oli 3,9 t ha<sup>-1</sup>. Vesomisen jälkeen 21-vuotiaiden lannoitettujen koealojen MAI oli



**Kuva 1.** Vesotettujen metsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassa (A) ja keskimääräinen vuotuinen biomassatuotos (B).



**Kuva 2.** Biomassatuotos ensimmäisenä (16 vuotta, siemensyntyinen, ei lannoitettu) ja toisena (21 vuotta, vesotettu, lannoituskäsittelyt O, PK ja tuhka) kiertoaikana vesottuneilla koaloilla ja 37 vuotiaassa vesottomattomassa metsikössä. Keskihajonta toisella kiertoaikalla merkitty pylväisiin. Metsiköiden iät merkitty pylväiden sisälle.

4,1–4,6 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ja lannoittamattomien koalojen 3,0 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. 37-vuotiaassa koivikossa oli lehdetöntä biomassaa 211,9 t ha<sup>-1</sup> (MAI 5,7 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>).

Koko 37 vuoden jakson aikana lannoittamattomat, PK- ja tuhkalannoitetut metsiköt olivat sitoneet hiiltä 61, 73 ja 78 t ha<sup>-1</sup> (kuva 2). Siten lannoitetut metsiköt sitoivat vuosittain 2,0–2,1 t ha<sup>-1</sup> hiiltä lehdeettömään maanpäälliseen biomassaan.

## Johtopäätökset

Turvetuotannosta on vuosittain vapautumassa merkittäviä pinta-aloja. Tämän tutkimuksen mukaan koivu voisi olla kiinnostava vaihtoehto pajuille ja ruokohelvelle biomassatuotannossa suonpohjilla. Tuloksemme viittaavat siihen, että koivun kiertoaika tulisi olla pidempi kuin 21 vuotta biomassatuotoksen maksimoimiseksi. Vaikka koivun kiertoaika onkin kolme–viisi kertaa pidempi kuin pajujen, halvemmat perustamiskustannukset ja suuri kerralla korjattava biomassasato ovat selviä etuja. Pajut ovat ravinnetaloudeltaan vaateliaampia kuin koivut. Kun koivua verrataan ruokohelppiin tai pajuihin, maanparannusta maan pH:n nostamiseksi ei tarvita ja lannoitus voidaan toistaa harvemmin, luultavasti vain kerran kiertoaikassa, jos käytetään puutuhkaa. Biomassatuotanto koivulla sitoisi myös ilmakehän hiiltä ja hiilen sidontaa voidaan lisätä vielä lannoittamalla. Lisää tuloksia tarvitaan biomassatuotoksesta erilaisilla suonpohjilla ja siitä, miten tuotos riippuu turpeen paksuudesta ja ravinnetaloudesta.

■ MMT Jyrki Hytönen, Metla Kannus,  
 MMM Lasse Aro, Metla Parkano  
 Sähköposti: jyrki.hytonen@metla.fi

Tarja Wallenius, Risto Laamanen,  
Jussi Peuhkurinen, Lauri Mehtätalo ja  
Annika Kangas

## Lentolaserkeilaukseen perustuvan metsän inven- toinnin ja erillisen maasto- kontrollimittauksen vastaavuuden arviointi

Seloste artikkelista: Tarja Wallenius, Risto Laamanen, Jussi Peuhkurinen, Lauri Mehtätalo & Annika Kangas: Analysing the agreement between Airborne Laser Scanning based forest inventory and a control inventory – a case study in the state owned forests in Finland. *Silva Fennica* 46(1): 111–129.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf461111.pdf>

**L**entolaserkeilaukseen perustuvat metsien inventoinnit, jatkossa laserinventoinnit, on useissa tutkimuksissa todettu olevan perinteistä maastointointia tarkempia. Tarkkuus vaihtelee kuitenkin alueen ja käytetyn menetelmän mukaan. Jotta inventoinnin laatu voidaan todentaa, tarvitaan inventointiprojektin osaksi yksiselitteinen ja käytännönläheinen laadunvalvontamenetelmä. Tässä tutkimuksessa 60 laserkeilauksessa muodostetulle mikrokuvioille tehtiin maastokontrollimittaus, jonka avulla arviointiin laserinventoinnin tarkkuutta Kuhmossa. Lisäksi analysoitiin laserinventoinnissa käytetyn yksikön (mikrokuvio) otantaan perustuvaa laadunvalvontamenetelmää. Kultakin mikrokuvioilta mitattiin otos, josta mitattujen tunnusten avulla laskettiin vastaavat ominaisuustiedot kuin laserinventoinnissa.

Laserinventoinnin ja maastokontrollimittauksen vastaavuutta vertailtiin usealla eri menetelmällä. Ensin vastaavuutta tarkasteltiin keskineliövirheen neliöjuurella (RMSE). Koska kontrollimittaus sisältää laserinventoinnin estimointivirheistä riippumatonta otantavirhettä, voitiin estimoitu otantavirhe vähentää keskineliövirheestä (MSE). Taulukossa 1 esitetään sekä absoluuttiset että suhteelliset RMSE arvot sekä vähentämättä että vähentäen otantavirhe. Samassa

taulukossa ovat myös laserinventoinnin tuottajan laaturaportin RMSE arvot ja referenssitutkimukseksi valitun Packalénin ja Maltamon tutkimuksen vastaavat arvot.

RMSE arvot ovat tässä tutkimuksessa pääsääntöisesti pienempiä kuin laserinventoinnin tuottajan laaturaportissa. On kuitenkin huomattava, että laaturaportti oli tuotettu koealatasolle. Tämän tutkimuksen useimpien tunnusten suhteelliset RMSE arvot ovat korkeampia kuin referenssitutkimuksen. Tämä johtuu siitä, että tämän tutkimuksen metsikkötunnusten keskiarvot ovat pienempiä kuin referenssitutkimuksen vastaavat arvot. Absoluuttiset arvot ovat kuitenkin useimmiten alhaisempia kuin referenssitutkimuksessa. Poikkeuksina ovat taulukkoon lihavoinnilla merkityt kokonaisrunkoluku, lehtipuiden runkoluku, lehtipuiden ja kuusen pituus ja läpimitta sekä lehtipuiden pohjapinta-ala.

RMSE:n lisäksi laskettiin myös harha. Kokonaistilavuuden ja pohjapinta-alan osalta oli havaittavissa pientä aliarviointia laserinventoinnissa. Sen sijaan keskipituutta ja keskiläpimittaa oli lievästi yliarvioitu. Harha ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää minkään tunnuksen osalta. Kun kullekin kuvioille muodostettiin luottamusväli erikseen, tilastollisesti merkitsevää poikkeama havaittiin kokonaistilavuudessa 3,3 %:lla, pohjapinta-alalla 5 %:lla, keskiläpimitalla 11,7 %:lla ja keskipituudella 25 %:lla kuvioista.

Seuraavaksi muodostettiin ns. ”Bland-Altman”-kuvat laskemalla kontrollimittauksen ja laserinventoinnin estimoitujen tunnusten erotukset ja kuvaamalla nämä vastaavien tunnusten keskiarvoja vasten. Kuvaan voidaan piirtää myös erotusten luottamusväliä tai toleranssirajaj, jotka kuvaavat menetelmien eron prosentteina. Vaikka tulokset näyttävät yleisesti ottaen hyviltä, niin Bland-Altman (kuva 1) -kuvista nähdään, että toleranssirajojen ulkopuolelle jääneet havainnot ovat usein harvennus- ja uudistushakkuusotteissa. Keskiläpimitoista ja keskipituuksista 95 % on 20 %:n toleranssirajan (asiakkaan salliman virhemarginaalin) sisällä. Sen sijaan kokonaistilavuuksista 72 % ja pohjapinta-aloista 77 % on sallitun toleranssirajan sisällä.

RMSE on tilastollisesti hyvin tunnettu menetelmä ja sitä on laajalti käytetty inventointien laadun arviointiin. Kuitenkin operatiivisen metsätalouden käyttöön kaivataan myös vähemmän tilastollista taitoa

**Taulukko 1.** Estimoidut RMSE arvot vähentämättä ja vähentäen otantavirhe (-se<sub>i</sub>) mikrokuviotasolla neljällä ensimmäisellä sarakkeella. RMSE arvot laserinventoinnin tuottajan laaturaportin mukaan koealatasolla seuraavat kaksi saraketta. Referenssitutkimuksen Packalén & Maltamo mukaiset RMSE arvot kuviotasolla kahdessa viimeisessä sarakkeessa.

|                                       | RMSE       | RMSE%<br>se <sub>i</sub> | RMSE<br>-se <sub>i</sub> | RMSE%<br>tuottaja | RMSE<br>tuottaja | RMSE%<br>P&M 2007 | RMSE<br>P&M 2007 | RMSE% |
|---------------------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------|
| <i>Mänty</i>                          |            |                          |                          |                   |                  |                   |                  |       |
| Til., m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | 21.8       | 33.1                     | 17.6                     | 26.6              | 38.0             | 49                | 27.7             | 28.1  |
| Ppa, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>  | 3.0        | 31.1                     | 2.4                      | 24.5              | 5.1              | 46                | 3.3              | 27.1  |
| Rklm, ha <sup>-1</sup>                | 217        | 37.4                     | 176                      | 30.4              | 299              | 51                | 232              | 40.8  |
| d, cm                                 | 2.9        | 15.9                     | 2.4                      | 13.6              | 2.7              | 14                | 3.4              | 16.9  |
| h, m                                  | 1.3        | 10.6                     | 1.2                      | 9.5               | 1.3              | 9                 | 1.4              | 8.5   |
| <i>Kuusi</i>                          |            |                          |                          |                   |                  |                   |                  |       |
| Til., m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | 13.6       | 63.3                     | 10.1                     | 47.3              | 26.1             | 104               | 27.0             | 32.6  |
| Ppa, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>  | 2.4        | 68.1                     | 2.0                      | 57.1              | 3.7              | 94                | 3.1              | 31.3  |
| Rklm, ha <sup>-1</sup>                | 226        | 82.6                     | 211                      | 77.1              | 203              | 78                | 240              | 38.1  |
| d, cm                                 | <b>6.2</b> | 40.0                     | <b>6.1</b>               | 39.0              | 4.1              | 24                | 2.6              | 20.2  |
| h, m                                  | <b>4.3</b> | 37.5                     | <b>4.2</b>               | 36.8              | 2.1              | 16                | 2.0              | 17.6  |
| <i>Lehtipuu</i>                       |            |                          |                          |                   |                  |                   |                  |       |
| Til., m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | 11.8       | 69.4                     | 10.2                     | 59.8              | 17.0             | 148               | 13.7             | 62.3  |
| Ppa, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>  | <b>2.3</b> | 74.4                     | <b>2.1</b>               | 67.5              | 2.4              | 134               | 1.6              | 52.5  |
| Rklm, ha <sup>-1</sup>                | <b>379</b> | 95.7                     | <b>359</b>               | 90.7              | 198              | 99                | 151              | 47.6  |
| d, cm                                 | <b>5.0</b> | 39.3                     | <b>4.8</b>               | 37.7              | 4.9              | 34                | 2.9              | 25.3  |
| h, m                                  | <b>3.8</b> | 35.0                     | <b>3.7</b>               | 34.4              | 2.4              | 19                | 2.3              | 18.4  |
| <i>Kaikki</i>                         |            |                          |                          |                   |                  |                   |                  |       |
| Til., m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | 15.1       | 14.5                     | 6.8                      | 6.5               | 28.2             | 25                | 21.1             | 10.4  |
| Ppa, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>  | <b>2.6</b> | 15.7                     | 1.7                      | 10.3              | 3.9              | 23                | 2.1              | 8.6   |
| Rklm, ha <sup>-1</sup>                | <b>420</b> | 33.6                     | <b>390</b>               | 31.2              | 293              | 28                | 241              | 15.9  |
| d, cm                                 | 1.6        | 9.6                      | 1.3                      | 7.7               | 2.3              | 12                | –                | –     |
| h, m                                  | 1.1        | 9.6                      | 1.1                      | 9.1               | 1.1              | 8                 | –                | –     |
| hdom, m                               | 1.3        | 8.9                      | –                        | –                 | 1.1              | 7                 | –                | –     |

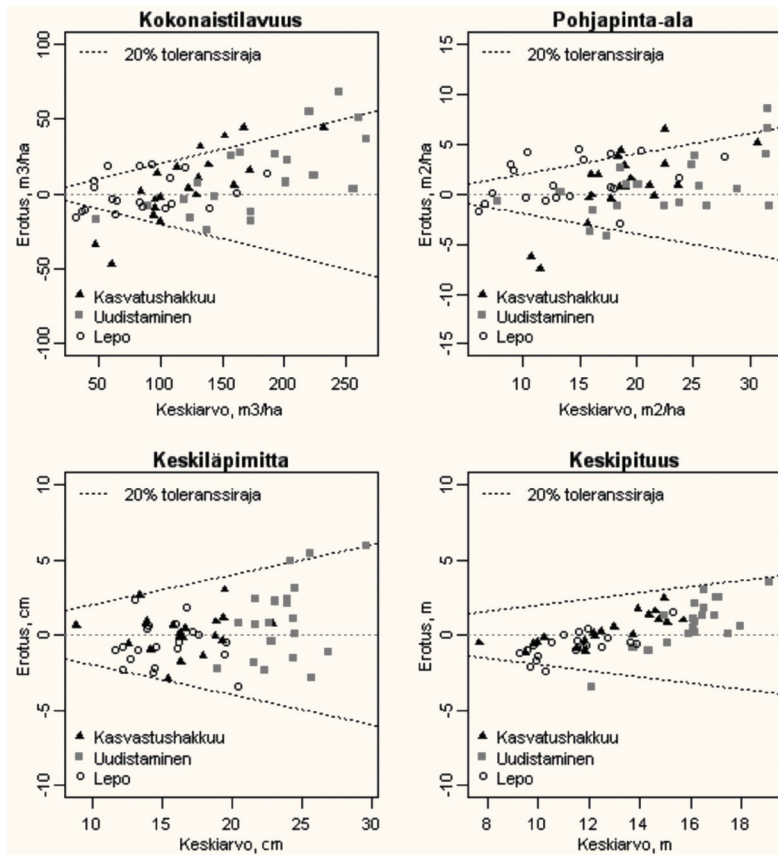
vaativia arviointimenetelmiä. Tässä tutkimuksessa huomattiin, että vaikka RMSE analyysi osoittaa laserinventoinnin täyttävän asetetut vaatimukset, tulokset näyttävät erilaisilta käytettäessä muita menetelmiä.

Tämän tutkimuksen tapainen laadunvalvonta on kallista, hidasta ja tulokset ovat saatavilla suhteellisen myöhään inventoinnin hyväksyntään nähden. Kontrollimitauksen tehokkuutta voitaisiin parantaa tutkimalla sopivampaa otantamenetelmää, keventämällä mittauksia ja kohdentamalla mittaukset kriittisiin kohtiin. Tulevaisuudessa laadunvalvonnan tulisi olla helppo ja yksinkertainen osa inventointiprosessia. Jatkossa kannattaisi kehittää myös lentolaserkeilaukseen perustuvan metsien inventointiprosessin laadunvalvontaan.

## Kirjallisuutta

- Kangas, A. & Lappi, J. 2011. On comparing agreement of forest variable estimates obtained with different methods. 50 s. (Julkaisematon käsikirjoitus).
- Laamanen, R. & Kangas, A. 2011. Large-scale forest owner's information needs in operational planning of timber harvesting – some practical views in Metsähallitus, Finnish state-owned enterprise. *Silva Fennica* 45(4): 711–727.
- Næsset, E. 2007. Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 433–442
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H.,





**Kuva 1.** Bland-Altman kuvat toleranssirajoilla (sallituilla virhemarginaalirajoilla) kokonaistilavuudelle ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), pohjapinta-alalle ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ), keskiläpimitalle (cm) ja keskipituudelle (m). Erotus on kontrollimittauksen tulos – laserinventoinnin tulos. Keskiarvo on menetelmien kuviokohtaisen tuloksen keskiarvo. Metsänhoitotoimenpiteet: kasvatushakkuu, uudistaminen ja lepo perustuvat laserinventoinnin tuloksiin. Toleranssirajat kuvaavat menetelmien eroavan toisistaan 20 %.

Persson, Å & Söderman, U. 2004. Laser scanning of forest resources: the Nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 482–499.

Packalén, P. & Maltamo, M. 2007. The k-MSN method for the prediction of species-specific stand attributes using airborne laser scanning and aerial photographs. *Remote Sensing of Environment* 109: 328–341. doi:10.1016/j.rse.2007.01.005.

■ Tarja Wallenius & Risto Laamanen, Metsähallitus, Vantaa; Jussi Peuhkurinen, Arbonaut Ltd, Helsinki; Lauri Mehtätalo, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu; Annika Kangas, Helsingin yliopisto, Helsinki  
Sähköposti tarja.wallenius@metsa.fi

Sanna Härkönen

## Uusia malleja tulevaisuuden metsän kasvun ennustamiseen

Seloste väitöskirjasta: Härkönen, S. 2012. Estimating forest growth and carbon balance based on climate sensitive forest growth model and remote sensing data. *Dissertationes Forestales* 138. 56 s.  
<http://www.metla.fi/dissertationes/df138.htm>

**M**etsänkasvatussimulaattoreita hyödynnetään laajasti metsäsuunnittelussa ja metsän tutkimuksessa, koska niiden avulla voidaan helposti ennakoita metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusta puuston tilaan ja suunnitella metsän tulevaa käyttöä. Perinteisesti metsän kasvun ennustamiseen on käytetty Suomessa suuriin mittausaineistoihin perustuvia empiirisiä kasvumalleja. Nämä mallit tuottavat tarkkoja ennusteita, kun kohteena on tyyppillinen talousmetsä, jota harvennetaan perinteisellä tavalla, ja jonka ilmasto pysyy samanlaisena kuin se on ollut mallien laadinta-aineistoja mitattaessa.

Ilmaston lämpenemisen ja vaihtoehtoisten metsänhoitomenetelmien yleistymisen myötä kohtaamme kuitenkin uusia haasteita. Miten pohjoisen alueen puut sopeutuvat lämpenevään ilmastoon? Miten puut reagoivat pitkällä aikavälillä erilaisissa ilmastoskenaarioissa? Miten nämä reaktiot saadaan mukaan kasvuennusteisiin, kun perinteiset mallit on tuotettu viileämmässä ilmastossa mitattujen kasvu- ja perusteella? Nykyisin käytössä olevien mallien laadinta-aineistot käsittävät lähinnä alaharvennuksin käsiteltyjä metsiköitä, koska se on ollut vallitseva metsänkäsittelymuoto näihin päiviin saakka. Miten sitten laadimme kasvuennusteen metsänomistajalle, joka harkitseekin perinteisistä poikkeavia metsän käsittely- ja harvennusvaihtoehtoja? Näihin kysymyksiin on vaikea löytää vastausta yksinomaan perinteisten empiiristen mallien avulla.

Prosessipohjaiset kasvumallit voivat tuoda apua edellä mainittuihin haasteisiin. Prosessipohjaisissa malleissa metsän kasvua kuvataan fotosynteesissä sidotun hiilen avulla. Mallinnettu kasvu riippuu ympäröivän metsän rakenteesta ja säätilasta, eikä ennusteita ole empiiristen kasvumallien tavoin si-

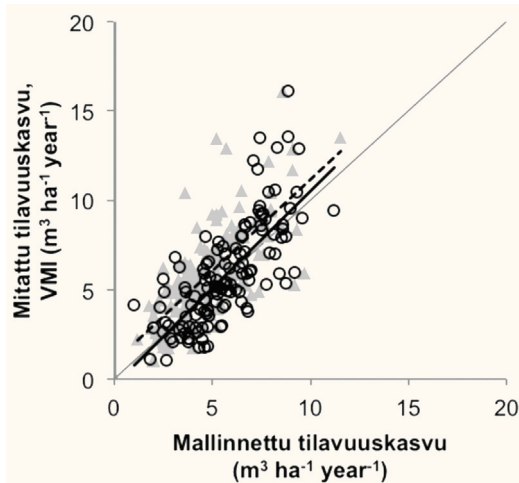
dottu menneisyyden mittauksiin. Prosessipohjaiset mallit eivät silti useinkaan tuota yhtä tarkkoja ennusteita kuin empiiriset mallit, ja niiden tulevaisuuteen sijoittuvien ennusteiden luotettavuutta on vaikea arvioida. Niiden avulla voidaan kuitenkin suuntaantavasti tutkia erilaisten skenaarioiden vaikutusta metsien kehitykseen uudenaikaisissa olosuhteissa. Eräs potentiaalinen kehityssuunta on empiiristen ja prosessipohjaisten mallien yhdistäminen niin sanotuiksi hybridimalleiksi, joiden soveltamisesta on saatu lupaavia tuloksia.

Väitöskirjani esittelee uuden menetelmän metsien kasvun ja hiilitaseen ennustamiseen pohjoisilla alueilla. Menetelmässä metsän kasvu ennustetaan prosessipohjaisella tiivistelmämallilla, joka huomioi sekä metsikön rakenteen, että ilmaston vaikutuksen puuston kehitykseen. Tiivistelmämalli on yksinkertaistettu versio puiden elintoimintoihin pohjautuvasta prosessipohjaisesta kasvumallista, ja sen etuna on helppo sovellettavuus käytäntöön. Sitä voidaan ajaa suoraan maastoinventoinneista tai laserkeilauksesta saaduilla metsikkötiedoilla, eikä se vaadi hankalia parametrisointeja monimutkaisten prosessimallien tavoin.

Uuden menetelmän avulla voidaan ennustaa sekä perinteisten metsikkötunnusten kehitystä että metsän hiilitasetta boreaalisissa metsissä. Tutkimuksessa tarkasteltiin tiivistelmämallin hyödyntämistä sekä maastosta että laserkeilaimella lentokoneesta kerätyillä lähtötiedoilla. Lisäksi testattiin hiilitase-ennusteiden yleistämistä koealatasolta suuralueatasolle satelliittikuvien avulla. Menetelmän luotettavuutta arvioitiin vertailemalla malliennusteita maastossa mitattuihin kasvuihin, jotka olivat suurimmaksi osaksi peräisin Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventoinneista. Vertailuissa oli mukana pysyvien koealojen aineisto (1985–1995) sekä VMI10-aineisto (2004–2008). Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin Itä-Suomen yliopiston mittaamaa kasvuaineistoa Heinävedeltä (2004–2009). Vertailun vuoksi tutkimuksessa ennustettiin metsän kasvua myös perinteisillä empiirisillä kasvumalleilla, joita käytetään tällä hetkellä käytännön metsäsuunnittelussa Suomessa.

Lyhyellä aikavälillä prosessipohjaisten kasvuennusteiden luotettavuus oli samalla tasolla kuin perinteisten kasvumallienkin. Vertailtaessa keskimääräistä vuotuista kasvua harventamattomilla





**Kuva 1.** Prosessipohjaisen (mustat ympyrät) ja empiirisen (harmaat kolmiot) kasvumallin runkotilavuuden kasvuennusteen vertailu VMI-koealoilta mitattuun tilavuuden kasvuun (VMI:n pysyvät koealat 1985 ja 1995).

VMI-koealoilla, prosessipohjainen malli tuotti pienen aliarvion (3,2%), kun empiirisellä mallilla aliarvio oli suurempi (18,8%) (Kuva 1). Prosessimallia testattiin myös mäntyvaltaisilla koealoilla Itä-Suomessa, jolloin empiirinen kasvumalli tuotti lähes harhattomia ennusteita. Sen sijaan prosessipohjaiset kasvuennusteet olivat keskimäärin 11,4% yliarvioita maastotiedoilla simuloitaessa, mutta harha pieneni käytettäessä laserkeilausaineistoa lähtötietona (1,5% yliarvio). Vaikka laserkeilausaineiston hyödyntäminen paransikin kasvuennusteiden luotettavuutta, latvusrakenteen ennustaminen laserkeilausaineistosta osoittautui käyttämällämme menetelmällä hankalaksi pisteaineiston alhaisen resoluution takia. Erilaisia menetelmiä laserkeilausaineiston yhdistämiseksi prosessimalleihin on siis syytä testata ja kehittää edelleen.

Väitöskirjassani testattiin lisäksi Landsat 5 TM -satelliittikuvien käyttöä koealakohtaisten hiilitase-ennusteiden yleistämiseksi suuralueille onnistunein tuloksin. Tällä menetelmällä voidaankin tuottaa hiilitase-ennusteita entistä tarkemmalla resoluutiolla (30 m) karkearesoluutioisten MODIS-tuotteiden rinnalle. Prosessimallilla laadittuja ennusteita vertailtiin myös meteorologisen kaasunvaihdon mitta-

uksiin, joita oli saatavilla Hyytiälän ja Sodankylän kasvihuonekaasujen vaihtoa mittaavista Eddy covariance -torneista. Malliennusteet olivat suhteellisen hyvin linjassa mitattujen lukemien kanssa Hyytiälässä, mutta osoituksena maaperän hiilivirtojen mallinnuksen haasteellisyydestä Sodankylän kohteella kaasunvaihdon ennusteet poikkesivat suuresti mitatuista.

Uusi ennustusmenetelmä osoittautui lupaavaksi, mutta siinä on edelleen myös paljon kehitettävää. Prosessipohjainen malli vaatii testausta kattavammalla aineistolla, jotta sen luotettavuudesta laajassa mittakaavassa voidaan tehdä johtopäätöksiä. Malliennusteiden luotettavuutta varsinkin sekametsiköissä ja eri-ikäisrakenteisissa metsiköissä sekä pidemmällä kasvujaksoilla tulisi tarkastella lisää. Tiivistelmämallia sovellettiin tässä tutkimuksessa vain lyhyisiin kasvatusjaksoihin. Pidempiä aikoja simuloitaessa mukaan tulisi liittää uusien puiden syntymistä ja vanhojen kuolemista kuvaavat mallit. Muita jatkokehityskohteita ovat esimerkiksi puiden veden ja typen oton prosessit, mallin laajentaminen turvemaille sekä maaperän hiilitaseen mallinnukseen liittyvät kysymykset.

Menetelmä tarjoaa ilmaston huomioonottavia työkaluja metsäsuunnittelun päätöksenteon, tutkimuksen ja metsäpolitiikan apuvälineeksi. Menetelmää voitaisiin jatkossa soveltaa esimerkiksi hiilitase-ennusteiden laatimiseen laserkeilaustiedon perusteella ja ennusteiden yleistämiseen koko Suomelle ja sen lähialueille satelliittikuvien avulla. Menetelmän avulla voidaan arvioida entistä helpommin käytännön metsänhoidon vaikutusta metsien hiilitaseisiin ja hakea hiilinielujen kannalta optimaalisia metsänkäsittelyvaihtoehtoja.

Työn taustalla on yhteistyöverkosto, jossa on mukana Metsäntutkimuslaitoksen, Itä-Suomen yliopiston ja Helsingin yliopiston tutkijoita niin ekologian, metsätietojärjestelmien kuin kaukokartoituksenkin aloilta. Yhteistyön ansiosta on ollut mahdollista yhdistää sekä ekologista perustutkimusta että soveltavan tutkimuksen kautta saatua tietoa käytännön metsäsuunnittelun maailmasta. Lisäämällä poikkitieteellistä yhteistyötä sekä tutkimustiedon ja aineistojen jakamista voimme vastata tulevaisuuden haasteisiin. Menetelmän kehittäminen jatkuu Metsäntutkimuslaitoksella EU:n LIFE+ -rahoitteisessa Climforisk-projektissa.

## Kirjallisuutta

- Climforisk EU Life+ project investigates climate effects on forests. (<http://www.metla.fi/life/climforisk/>)
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P. 2002. Models for Predicting Stand Development in MELA System. Finnish Forest Research Institute Research Papers 835. 116 s.
- Härkönen, S., Lehtonen, A., Eerikäinen, K., Peltoniemi, M. & Mäkelä, A. 2011. Estimating forest carbon fluxes for large regions based on process-based modelling, NFI data and Landsat satellite images. *Forest Ecology and Management* 262(12): 2364–2377. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112711005275>
- Härkönen, S., Pulkkinen, M., Duursma, R. & Mäkelä, A. 2010. Estimating annual GPP, NPP and stem growth in Finland using summary models. *Forest Ecology and Management* 259: 524–533. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112709008172>

■ MMT Sanna Härkönen, Metsäntutkimuslaitos (Vantaa/Joensuu). Sähköposti: [sanna.harkonen@metla.fi](mailto:sanna.harkonen@metla.fi)

Mikko Vastaranta

## Metsien kartoitus ja seuranta aktiivisella 3D-kaukokartoituksella

Seloste väitöskirjasta: Vastaranta, M. 2012. Forest mapping and monitoring using active 3D remote sensing. *Dissertationes Forestales* 144. 45 s.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df144.htm>

**M**etsävaroista kerätään mahdollisimman tarkkaa tietoa metsänomistajan päätöksenteon tueksi. Tietoa kerätään puustotunnusten lisäksi toimenpidekohteista ja metsässä tapahtuvista muutoksista, kuten esimerkiksi kasvusta ja luonnontuhoista. Laajojen metsäalueiden kartoituksessa käytetään apuna

lentokoneesta tai satelliiteista tehtävää kaukokartoitusta. Metsien kaukokartoitus on viime vuosina ottanut merkittävän kehitysaskeleen, kun aktiiviset 3D-kaukokartoitusmenetelmät ovat yleistyneet. Aktiivisessa kaukokartoituksessa, kuten laserkeilauksessa ja tutkakuvauksessa laite vastaanottaa lähettämäänsä säteilyä. Laserkeilauksessa lähetetään ja vastaanotetaan laserpulsseja, kun taas tutkakuvauksessa mikroaaltoja. Laserkeilaus tuottaa kohteesta 3D-havainnoja, jotka metsäalueilla kuvaavat suoraan puuston pitoa ja tiheyttä. Laserkeilauksella kohteesta saadaan tällä hetkellä tyypillisesti 0,5–20 havaintoa/m<sup>2</sup>. Keilaus tehdään lentokoneesta 500–3000 m korkeudesta, jolloin aineiston hankinta laajoilta alueilta on kallista verrattuna satelliittimateriaaleihin. Satelliittitutkavien spatiaalinen resoluutio on parantunut jo alle metriin ja myös niiltä voidaan tuottaa tarkkaa 3D-tietoa. Täten tuotetun pistepilven tiheys on tosin huomattavasti harvempi kuin laserkeilauksella. Tutka-aineiston käytännön etu on, että mikroaallot läpäisevät pilviä, jolloin aineiston hankinta onnistuu käytännössä milloin vain.

Metsävarojen inventoinnilla on Suomessa pitkät perinteet. Otantaan perustuva koko maan kattava valtakunnan metsien inventointijärjestelmä (VMI) otettiin käyttöön ensimmäisenä maana maailmassa noin 90 vuotta sitten (VMI 1, 1920–1924). Esimerkiksi naapurimaassamme Venäjällä ensimmäisen VMI:n odotetaan valmistuvan vasta vuoden 2020 tienoilla. Myös uuden teknologian hyödyntäjinä suomalaiset metsien inventoijat ovat olleet edelläkävijöitä kehittäessään 1990-luvun alussa satelliittikuviin perustuvan monilähdeinventointimenetelmän, jolla pystytään kartoittamaan metsävaroja. Operatiivisen metsä- ja leimikkosuunnittelun puolella kehitys on polkenut paikallaan tehokkaan kartoitusmenetelmän näkökulmasta. Metsäsuunnitteluinventoinnit tehtiin yli 50 vuotta samalla, visuaaliseen ilmakuvatulkitaan ja kuvioittaiseen maastoarviointiin perustuvalla menetelmällä. Kaukokartoituksen mahdollisuuksia, eli satelliitti- ja ilmakuvien hyödyntämistä metsävarojen kartoituksessa on tutkittu pitkään, mutta operatiiviseen toimintaan niiden automaattinen tulkinta ei ole siirtynyt. Syy on ollut yksinkertainen: Satelliitti- ja ilmakuvien tuottamalla tiedolla puustotunnusten estimointitarkkuus kuviotasolla ei ole ollut riittävä operatiivisen metsä- tai leimikkosuunnittelun tarpeisiin.

Viime vuosien aikana kuvioittaista arviointia on aloitettu korvaamaan laserkeilaukseen perustuvalla inventointimenetelmällä, jonka tuloksena saadaan kartta metsävaroista. Suomessa ensimmäinen laaja käytännön laserkeilausprojekti metsäsuunnittelua varten tehtiin vuonna 2008 metsäyhtiö UPM:n metsiin, jolloin keilattiin 450 000 ha. Vuonna 2010 aloitettiin myös yksityismetsissä siirtymään vaiheittain laserkeilausinventointiin. Laajojen metsäalueiden kartoitus laserkeilauksella perustuu yleensä kaksivaiheiseen inventointimenetelmään, jossa käytetään maastomittauksia ja tiedon yleistyksessä kaukokartoitusaineistoa. Menetelmää kutsutaan aluepohjaiseksi menetelmäksi ja sillä pystytään etenkin puuston keskittilavuus kartoittamaan kuvioittaista arviointi tarkemmin. Sen lisäksi menetelmä on täysin objektiivinen, eikä ole riippuvainen kuvion rajoista. Inventoinnin tulokselle voidaan laskea myös tarkuusarvio.

Metsäsuunnittelun näkökulmasta laserkeilaus on halpaa, sillä laseraineiston hankinta ja inventoinnin kustannukset ovat vain murto-osa kuvioittaisen arvioinnin kustannuksista. Toistaiseksi laserkeilausta hyödynnetään kuitenkin vain puustotietojen tuottamisessa ja esimerkiksi kasvupaikan määrittäminen ja toimenpiteiden suunnittelu tehdään edelleen maastossa. Myös taimikot ovat nykyisen laserinventoinnin ulkopuolella. Väitöskirjatutkimuksen lähtökohtana oli tutkia kuinka käyttää laserkeilausaineistoja, mutta myös tutka-aineistoja entistä tehokkaammin ja monipuolisemmin metsävarojen kartoituksessa ja seurannassa. Pääpaino oli laserkeilauksessa, mutta tutkakuvaus ja etenkin radargrammetria (tutkakuviilta tapahtuva stereomittaus) mahdollistaa kehitettyjen menetelmien soveltamisen entistä laajemmille alueille ja myös nopeaan metsävarojen seurantaan. Tehokkaammista ja tarkemmista kartoitussovelluksista hyötyisivät kaikki metsänomistajat, jotka arvostavat tarkempaa tietoa omaisuudestaan. Yksittäisiä tiloja ei ole mielekäästä laserkeilata erikseen, mutta kun aineistojen hankinta tehdään keskiteytysti, esim. Metsäkeskuksen alueelle, niin tällöin myös pienmetsänomistajat hyötyvät tarkemmista kartoitusmenetelmistä. Suurmetsänomistajat, kuten Metsähallitus, voivat jo nyt pyörittää kokonaan omia keilausprojektejaan. Kehitettyjä sovelluksia voi hyödyntää metsäsuunnitteluinventoinneissa ja koska kehitetyt menetelmät sopivat myös laajojen

alueiden metsävarojen kartoitukseen, voi niitä soveltaa vastaavasti kuten on hyödynnetty VMI:n monilähdeinventointia, esimerkiksi hakkuupotentiaalin kartoittamisessa.

Väitöskirjatyöni ensimmäisessä osatutkimuksessa kehitettiin menetelmä, jolla metsiköiden toimenpidetarvetta ennustettiin laserkeilausaineiston ja koelamittausten avulla. Harvennuspäätös on yksi tärkeimmistä metsänomistajan metsänhoidollisista päätöksistä. Metsänomistajan tulisi myös tietää, mistä löytyvät mahdolliset harvennuskohteet? Laserkeilaus kertoo suoraan metsänrakenteesta, kuten pituudesta ja tiheydestä. Harvennettaviksi luokitellut metsiköt pystyttiin kartoittamaan tarkemmin laserkeilausaineistosta laskettujen tunnusten kuin perinteisten metsikkötunnusten avulla.

Yksityismetsien suunnittelujärjestelmässä laserkeilausaineistoa ei kuitenkaan hyödynnetä toimenpiteiden, kuten harvennusten kohdentamisessa. Tämä tutkimus osoitti, että laserkeilausaineisto sisältää tärkeää informaatiota metsikön toimenpidetarpeesta.

Aktiivinen sijaintitiedoltaan tarkka kaukokartoitus mahdollistaa monia mielenkiintoisia ja käytännön läheisiä seurantasovelluksia. Maastossa tapahtuneilla kartoitusinventoinneilla ei ole pystytty mitenkään reagoimaan tehokkaasti metsässä tapahtuneisiin nopeisiin muutoksiin, kuten tuhoihin, joihin on mahdollista päästä kiinni 3D-kaukokartoituksella. Viime vuosina pohjoismaissa on esiintynyt laajoja myrskytuhoja, kuten esimerkiksi joulukuun 2011 Tapani-myrsky. Tarve nopealle tuhojen kartoitusmenetelmälle on siis erittäin ajankohtainen. Toisessa osatutkimuksessa käytettiin kahden ajankohdan laserkeilausaineistoja lumituhojen vuoksi vaurioituneiden puiden kartoittamiseen. Tuhoutuneiden puiden kartoitus perustui laserkeilausaineistosta tuotettujen latvusmallien erotuskuviin. Menetelmällä pystyttiin kartoittamaan kokonaan tai osittain tuhoutuneita puita tai puuryhmiä. Toisin sanoen, menetelmällä oli mahdollista havaita tarkimmillaan yksittäisen puun katkennut latvus. Tutkimuksen tuloksena selvisi, että menetelmän tarkkuus riittää hyvin käytännön sovelluksiin, joissa pienin kiinnostava yksikkö on tuhoutunut puu, useimmiten puuryhmä. Kehitetty menetelmä ei rajoitu ainoastaan lumituhojen kartoitukseen, vaan soveltuu ylipäätään latvusrakenteessa tapahtuneiden muutosten kartoittamiseen ja seurantaan.

Laajojen metsäalueiden kartoitus perustuu yleensä kaksivaiheiseen inventointimenetelmään, jossa käytetään maastomittauksia ja tiedon yleistyksessä kaukokartoitusaineistoa. Kartoitusta voidaan tehostaa joko maastomittauksia vähentämällä tai hyödyntämällä mahdollisimman halpaa kaukokartoitusaineistoa. Kolmannessa osatutkimuksessa kehitettiin täysin kaukokartoitukseen perustuva kaksivaiheinen metsien inventointimenetelmä. Tarvittava maastotieto mitattiin suoraan laserkeilausaineistosta. Menetelmä on kuitenkin karkea ja soveltuu parhaiten puuston tilavuuden tai biomassan kartoitukseen alueille, joilla maastomittausten kustannukset ovat merkittävät.

Satelliittitutkakuvat ovat potentiaalinen aineisto etenkin laajojen alueiden metsävarojen seurannassa. Väitöskirjatyöni neljännessä ja viidennessä osatutkimuksessa SAR (synteettisen apertuurin tutka)-stereokuvilta mitattiin automaattisesti 3D-pisteitä, joita käytettiin puustotunnusten ennustamisessa. Puuston keskittävyys ja biomassassa ennustettiin parhaimmillaan lähes vastaavalla tarkkuudella kuin laserkeilauksella. Väitöstyössä ei vielä tutkittu 3D tutka- ja laseraineistojen hyödyntämistä laajojen alueiden muutosten seurannassa. Tulevaisuudessa näiden aineistojen yhdistäminen voisi olla käytännössä se tapa, jolla esimerkiksi myrskytuhot saataisiin nopeasti kartoitettua, sillä tutka-aineistosta voisi mahdollisesti saada jopa päivittäin.

Tutkimus osoitti aktiivisen 3D-kaukokartoitustiedon mahdollistavan entistä yksityiskohtaisemman ja tarkemman metsien kartoituksen ja seurannan. Tulevaisuudessa kehitettyjä menetelmiä pystytään myös soveltamaan tehokkaasti entistä laajemmille alueille, ehkä jopa maailmanlaajuisiin sovelluksiin. Merkittävä aihealue tulee olemaan tarkentuneet metsien seurantasovellukset, jotka voivat olla seuraava kaukokartoitus mullistus.

■ MMT Mikko Vastaranta, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos  
Sähköposti [mikko.vastaranta@helsinki.fi](mailto:mikko.vastaranta@helsinki.fi)

Raili Hokajärvi

## Metsäsuunnittelu muutoksessa

Seloste väitöskirjasta: Hokajärvi, R. 2012. Metsäsuunnitteluprosessin kehittäminen – yksityismetsien suunnittelu-toiminta ja sen historiallinen kehitys muutoksen suuntaajana. *Dissertationes Forestales* 145.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df145.htm>

Yksityismetsien metsäsuunnittelua on Suomessa toteutettu alueellisen suunnittelun mallin mukaisesti 1970-luvun alkupuolelta saakka. Metsävaratiedot on kerätty kattavasti kuvioittaista arviointia käyttäen maastotyönä. Tiedon pohjalta on koostettu metsäsuunnitelmat niille tiloille, joille metsänomistaja oli suunnitelman tilannut. Metsäkeskukset ovat tähän asti toteuttaneet pääosan suunnittelusta. Metsäsuunnittelussa on meneillään suuri muutos: Vuoden 2012 alussa on toteutettu Metsäkeskuksen organisaatiouudistus, joka erotti metsävaratiedon tuottamisen ja tilakohtaisen metsäsuunnittelun. Samalla kattavasta maastoinventoinnista on siirrytty kaukokartoitukseen perustuvaan metsävaratiedon tuottamiseen.

Väitöskirjatutkimuksen tavoitteena oli tukea metsäsuunnittelun kehitystyötä, erityisesti sosiaalisen järjestelmän ja oppimisen näkökulmista. Nykyinen toiminta ja sen analysointi sekä historia toimivat kimmokkeina tulevalle kehitystyölle. Keskeiset tutkimuskohteet olivat metsäkeskuksen metsäsuunnittelijan työ ja suunnittelun historiallinen kehitys. Tutkimus oli monitieteellinen, laadullinen tutkimus, jonka menetelmällisenä kehikkona oli kehittävä työntutkimus. Kehitystä tutkittiin ekspansiivisen oppimisen mallia soveltaen. Ekspansiivinen oppiminen on organisaation oppimista kuvaava malli, joka perustuu kulttuurihistorialliseen toiminnan teoriaan kuten kehittävä työntutkimuskin.

Historiallista kehitystä analysoitiin kirjallisten aineistojen ja pyydettyjen kirjoitelmien pohjalta. Tietoja täydennettiin ja tarkistettiin kirjallisuudesta ja asiantuntijoilta. Metsäsuunnittelun kehitystä peilattiin teollistamiskehitystä kuvaaviin työn kehityksen tyyppeihin. Haastattelujen ja työn seuraamisen avulla tutkittiin metsätiedon käyttöä ja kehittämistä.

tarpeita metsänuudistamistoiminnassa. Metsäkeskuksen metsäsuunnittelijoiden haastattelut olivat keskeinen aineisto nykyisen työn analysoinnissa. Lopuksi toiminnallisissa kehittämissistunnoissa kehitettiin organisaation metsäsuunnittelutoimintaa. Metsäkeskuksen yhden kunnan metsäsuunnittelijat olivat keskeinen kehittämisryhmä, mutta myös kahden muun organisaation kehittämistyö oli tutkimuksen tukena. Pääasiallinen analyysimenetelmä oli laadullinen sisällönanalyysi, jossa käytettiin NVivo-ohjelmistoa.

Metsäsuunnittelun kehityksessä paikannettiin useita muutoskohtia, jotka olivat uuden asian tai painotuksen mukaantuloa metsäsuunnitteluun. Näitä painotuksia olivat mm. henkilökohtainen neuvonta, monitavoitteisuus, laatujärjestelmien kehittäminen. Alueellisen suunnittelun malli voidaan rinnastaa työn kehityksen tyypeissä massatuotantoon. Jatkuvan parantamisen ja asiakaskohtaistamisen tunnusmerkkejä oli havaittavissa ja teknistä kehitystä on tapahtunut, mutta suunnittelun toimintamalli on pysynyt perusteiltaan samanlaisena. Metsäsuunnittelun tuottamaa tietoa on käytetty laajasti eri muodoissa. Epävirallinen tiedonvaihto on ollut tärkeää. Ajan tasalla olevan tiedon saamista korostettiin viimeaikaisessa kehityksessä.

Yksityismetsien metsäsuunnitteluprosessi on yhtenäinen koko maassa; sillä on yhteinen perusta ohjeistuksessa. Suunnitteluprosessi etenee valmistelun, maastoinventoinnin ja suunnitelman koostamisen kautta luovutukseen. Metsänomistajiin ollaan yhteydessä markkinoinnin, tavoitteiden tiedustelun ja neuvonnan yhteydessä. Tutkimuksessa havaittiin poikkeamia vallitsevasta käytännöstä. Näitä voidaan pitää työtä rikastuttavina innovaatioina ja mahdollisesti merkkeinä muutostarpeesta. Jotkut pyrkivät luovuttamaan suunnitelman heti maastotöiden jälkeen, vaikka se oli vastoin ohjeistusta ja vähensi maastotyön ”tehokkuutta”. Toiset toteuttivat neuvonnan ennen lopullisen suunnitelman luovutusta.

Yleisesti suunnittelulla haluttiin tuottaa hyötyä metsänomistajalle ja parantaa metsän tuottoa. Metsänomistajalle tehtävä metsäsuunnitelma on metsäsuunnittelun konkreettinen tulos; sen kautta halutaan vaikuttaa metsänomistajan tietoihin ja käytäytymiseen. Metsän tuottavuus ja hyvä kasvukunto oli suunnittelijan toinen tavoite. Suunnitelman avulla ylläpidetään ja parannetaan metsän tuottavuutta

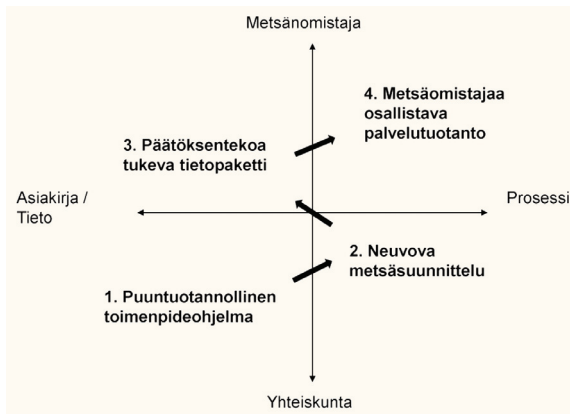
ympäristöasiat huomioiden. Hyvä metsänhoito oli metsäsuunnittelijan tavoite ja luonteva osa metsäsuunnittelua. Toiminta metsässä ja tyytyväinen metsänomistaja motivoivat metsäsuunnittelijaa. Metsäsuunnittelijoilla oli myös vahva kollektiivinen motiivi yhteisen hyvinvoinnin tuottamiseen metsissä tapahtuvan toiminnan kautta. Suunnittelijan täytyi työssään yhdistää metsässä ja metsänomistajan kanssa tehtävät työt. Työn kohteina kilpailivat metsä ja metsänomistaja, mikä aiheutti ristiriitoja työssä.

Suunnittelijoilla oli tarve suunnitteluun, joka huomio paremmin metsänomistajan näkökulman. Nykyistä suunnittelutapaa ja -aikataulua tulisi muuttaa. Toimenpiteiden tekemistä haluttiin helpottaa. Myös yhteydenpitoa metsänomistajaan haluttiin jatkuvammaksi, minkä toteuttamismahdollisuudet nähtiin epävarmoina. Kaikkiaan nykyinen suunnittelumalli ei enää motivoinut suunnittelijaa: suunnittelu ei ollut riittävästi yhteydessä toimenpiteiden toteutukseen ja liian moni metsänomistaja oli suunnittelun ulkopuolella.

Metsäsuunnittelua tulisi kehittää lisäämällä suunnittelun asiakaslähtöisyyttä ja monitavoitteisuutta sekä yhteistyötä toimijoiden välillä. Nykyinen alueelliseen tiedonkeruuseen perustuva suunnittelumalli ei tue näitä tavoitteita. Puuntuotannon hallitseva asema ei vastaa metsänomistajien ja yhteiskunnan kehitystä. Yhteistyötä tulisi kehittää myös muiden kuin metsäalan toimijoiden kesken. Metsäsuunnittelussa metsänomistajan ja hänelle tuotettavien palvelujen tulee olla nykyistä enemmän toiminnan kohteena. Metsäsuunnittelun eriyttäminen informointijärjestelmään ja konsultoivaan päätöstukeen selkiyttää toimintaa. Metsäkeskusorganisaation muutos vuoden 2012 alussa antaa mahdollisuuden kehittää toimintaa tähän suuntaan. Molemmissa toiminnoissa on kuitenkin huomioitava metsänomistajan palvelu. Uutta toimintakonseptia tulee edelleen kehittää yhteisen kehitystyön kautta.

Kehitystyössä on palattava oleellisiin kysymyksiin: mitä toiminnassa tuotetaan ja miksi (kenelle) tuotetaan? Metsänomistajalle pitää tarjota tietoa päätöksensä tueksi, myös tietoa vaihtoehtoista ja niiden seurauksista. Tiedonkeruun uuden järjestelmän käyttö tulee rakentaa niin, että se palvelee metsänomistajaa ja muita tiedon tarvitsijoita. Toimenpiteiden päivitys tietokantaan ei saa olla vain tiedonkeruutehtävä, vaan se tulee liittää palvelujen





**Kuva 1.** Metsäsuunnittelun kohteen kehityksen painopisteen teoreettis-historiallinen pelkistys.

tuottamiseen. Metsäsuunnittelijan työ metsätiedon parissa on rakennettava omistajasta käsin. Vaarana on, että kehityksestä tulee suppeneva, esimerkiksi keskitytään metsätietojen tuottamiseen ja ylläpitoon tai toiminta jakaantuu niin, että metsätiedon tuottaminen ja palvelutuotanto kehittyvät erillisinä.

Metsäsuunnittelun kehitys on siirtynyt tiedon (tai suunnitelma-asiakirjan) tuottamisesta suunnitteluprosessin korostamiseen. Yhteiskunta ja metsänomistaja ovat tahoja, joille tieto tuotetaan. Kehityksen painopiste kulkee yhteiskunnan tarpeista lähtevästä suunnittelusta ja neuvonnasta kohti metsänomistajaa tukevaa ja osallistavaa suunnittelua (kuva 1). 'Neuvova metsäsuunnittelu' -pelkistys on vielä nyky-suunnittelussa vahvasti läsnä, mutta monipuolisempi päätöksenteon tuki ja asiakkaan tarpeisiin vastaaminen ovat näkyvillä.

Metsäsuunnitelma on ollut tietty, valmis tuote, johon on kuulunut neuvontaa. Jatkossa valmiin tuotteen sijasta voidaan tarjota monitahoisempaa kokonaisuutta – tarjoomaa, joka muotoutuu tuottajan ja asiakkaan välisessä yhteistoiminnassa. Asiakkaan ja palvelun tuottajan väliset roolit muuttuvat oleellisesti uudentyyppisessä tuotannossa, jota on nimitetty yhteiskehittelyksi. Palvelua tai tuotetta ei tuotetakaan ennakoon sovitun sisällön mukaisesti, vaan tuotteen mukautuminen jatkuu tuotteen elinkaaren aikana vuorovaikutuksessa asiakkaan, tuottajan ja tuotteeseen upotettujen ominaisuuksien välillä. Tämä on iso muutos ja edellyttää uudenlaista ajattelua. Sitä ennen metsäsuunnittelussa on päästävä aitoon asiakaslähtöiseen tuotteiden ja palvelujen räätälöintiin.

Nykytoiminnan ja sen historiallisen kehityksen analyysi on tärkeä lähtökohta ”uuden sukupolven” suunnittelujärjestelmän kehitystyön tueksi. Metsänomistajien palvelutarpeet ovat toinen tärkeä lähtökohta. Todellisessa ympäristössä tehty tutkimus, jossa tutkijat, kehittäjät ja käytännön toimijat ovat mukana, on tärkeä kehitystyölle ja sen onnistumisten arvioinnille. Kehittävä työntutkimus on toimiva menetelmäkehikko, mutta esimerkiksi kasvatustieteestä löytyy muitakin hyviä menetelmiä, joilla kehitystyötä ja yhteistä oppimista voidaan tukea.

■ MMT Raili Hokajärvi, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Luonnonvara-alan yksikkö, Oulu  
Sähköposti raili.hokajarvi@oamk.fi