

Jaana Luoranen, Risto Rikala ja  
Heikki Smolander

## Kuusen taimien istuttaminen Bracke- ja Ecoplanter-istutus- koneilla – maanmuokkauksen, istutuksen ja taimien maasto- menestymisen arviointi

Seloste artikkelista Machine planting of Norway spruce by Bracke and Ecoplanter: an evaluation of soil preparation, planting method and seedling performance. *Silva Fennica* 45(3): 341–357.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf453341.pdf>

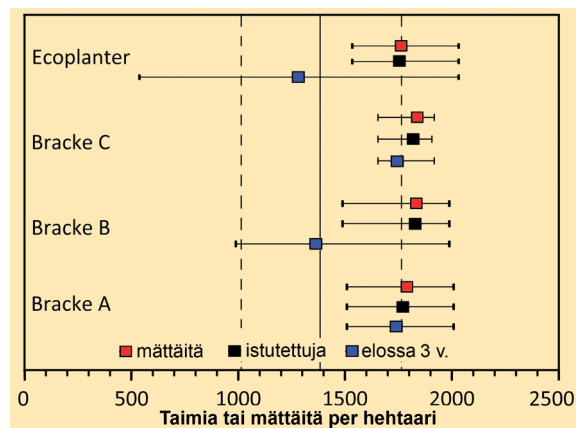
**K**oneellisen istutuksen yleistymisen kannalta on oleellista, että se olisi tuottavuudeltaan ja kustannuksiltaan kilpailukykyinen maan muokkauksen ja istutuksen kanssa. Näiden lisäksi oleellista on, että istutuskoneiden muokkausjälki ja istutus olisivat laadultaan hyviä ja taimien maastomenestyminen istutuksen jälkeen olisi hyvä. Näitä asioita tutkittiin vuosien 2000–2002 käytännön koneistutusaloilta Keski-Suomessa ja Savossa. Tuolloin Suomessa oli käytössä Ecoplanter- ja Bracke-istutuskoneet.

Bracke istutuskone tekee laikkumättäitä, joihin kone istuttaa taimen. Brackessa on vain yksi muokaus- ja istutuspää. Ecoplanter on kaksipäinen, eli se pystyy muokkaamaan ja istuttamaan kaksi kohtaa yhtä aikaa. Ecoplanterin maanmuokkaus perustuu jyrshintään, jossa istutettavan muokkausjäljen muodostaa jyrsimällä humuksesta ja kivennäismaasta saatu kohouma.

Vuosina 2000–2002 merkittiin kolmen Bracke-koneen työmaista viikon tai kahden välein 69 sadan taimen koealaa heti istutuksen jälkeen. Vuosina 2001 ja 2002 yhden Ecoplanterin työmaista mer-

kittiin vastaavasti 6 koealaa. Istutuksen jälkeisen vuoden syksyllä mitattiin koealojen taimet, arvioitiin taimien kunto sekä muokkauksen ja istutuksen laatu. Lisäksi kunkin 100-taimen koealan ympäriltä uudistusalalta otettiin systemaattisella otannalla 17 ympyräkoealaa, joilta laskettiin muokkaus- ja istutustiheydet. Kolmen vuoden kuluttua istutuksesta mittaukset toistettiin ja näin saatiin taimien elossa-olosta vertailukelpoista aineistoa koneistutusaloilta, jota voitiin verrata samoihin aikoihin toteutetun ”Etelä-Suomen metsänuudistamisen laadunhallinta”-hankkeessa käsin istutuksena yksityismailla toteutettuihin kuusen istutuksen uudistamistuloksiin.

Molemmilla istutuskonetyypeillä pystyttiin muokkaamaan ja istuttamaan keskimäärin 1800 tainta hehtaarille (kuva 1), joka oli tuolloin istutustiheys-suositus kuuselle. Kolmen vuoden kuluttua istutuksesta oli Brackellä istutetuista taimista elossa



**Kuva 1.** Kolmen Bracke- ja yhden Ecoplanteristutus-koneen keskimääräinen mätäs- ja istutustiheys sekä kolmen vuoden kuluttua istutuksesta elossa olevien taimien määrä hehtaarilla. Vaakaviivat kuvaavat 25% kvarttiileja. Yhtenäinen pystyviiva kuvaa keskimääräistä taimitiheyttä kolmen vuoden kuluttua istutuksesta ja katkoviivat sen keskihajontaa ”Metsänuudistamisen laadunhallinta”-hankkeen mukaan yksityismetsissä Etelä-Suomessa.

keskimäärin 1578 tainta/ha, kun yksityismetsien kuusen viljelyaloilla löytyi keskimäärin 1388 elossa olevaa tainta hehtaarilta. Ecoplanterilla elossa oli kuitenkin selvästi vähemmän eli vain 1240 tainta/ha (kuva 1).

Maanmuokkauksen laatu on yksi tärkeimmistä taimen maastomenestymiseen vaikuttavista tekijöistä. Taimien maastomenestyminen oli hyvä, jos taimen ympärillä mättään pinnalla oli kivennäismaakerros. Yhtenäinen kivennäismaakerros taimen ympärillä vähensi tukkimiehentäin tuhoja. Bracke-koneella kivennäismaakerros muodostui suurimmassa osassa tapauksia, mutta Ecoplanterilla 55 %:ssa mättäistä pinta oli humusta. Suuri humus- ja humus-kivennäismaapintaisten mättäiden määrä selittää Ecoplanterilla istutettujen taimen suuren kuolleisuuden. Ecoplanterin tuloksiin saattoi vaikuttaa osin se, että mukana oli vain kuusi kohdetta, jotka olivat kaikki saman kuljettajan istuttamia. Muista, julkaisemattomista tutkimuksista saadut tulokset kuitenkin vahvistavat tässä tutkimuksessa saatua tulosta. Kivisyyden lisääntyminen heikensi maanmuokkauksen ja istutuksen laatua ja lisäsi sitä kautta myös taimien kuivumisriskiä.

Tutkimuskohteiden istutusajankohdat jakautuivat koko sulanmaan ajalle toukokuusta pisimmillään jopa marraskuulle. Istutusajankohtien välillä ei havaittu eroa maastomenestymisessä. Kasvatus- tai kuljetuslaatikoissa liian pitkään (pisimmillään jopa vuoden) olleiden taimien kasvu oli heikkoa istutuksen jälkeen. Taimien tulee olla sopivan kokoisia kasvatustiheyteen nähden ja kehitysvaiheeltaan istutusajankohtaan sopivia.

Johtopäätöksenä tutkimuksesta oli, että koneistus onnistuu, kun maanmuokkauksella pystytään saamaan kivennäismaapintaisia mättäitä. Myös istuttaminen toukokuusta syyskuun loppuun onnistuu, kunhan taimet on tuotettu kuhunkin istutusajankohtaan.

■ MMT Jaana Luoranen, MMT Risto Rikala, MMT Heikki Smolander, Metla, Suomenjoki  
Sähköposti jaana.luoranen@metla.fi

Harri Kilpeläinen, Jari Lindblad,  
Henrik Heräjärvi ja Erkki Verkasalo

## Sahatukin kertymät ja runkojen laatu eteläsuomalaisissa harvennuskoivikoissa

Seloste artikkelista: Kilpeläinen, H., Lindblad, J., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2011. Saw log recovery and stem quality of birch from thinnings in southern Finland. *Silva Fennica* 45(2): 267–282.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf452267.pdf>

**K**oivikoiden harvennushakkuut muodostavat mielenkiintoisen raaka-ainelähteen koivusahoille varsinkin ajankohtina, jolloin sahojen toimintaa rajoittaa pula koivutukin saatavuudesta. Järeyydessään harvennuskoivikot tulevat muodostamaan keskeisen raaka-ainelähteen myös vaneri- ja viiluteollisuudelle. Erityyppisten harvennuskoivikoiden puuston laadusta ja puutavaralajien kertymistä on ollut niiden taloudelliseen merkitykseen ja potentiaaliin nähden huomattavan vähän tutkimustietoa saatavilla. Tutkimuksessa määritettiin sahapuun kertymät ja laatu raudus- ja hieskoivikoiden ensiharvennuksessa ja toisessa harvennuksessa Suomen eteläosissa.

Tutkimusaineisto käsitti 48 koivuvuoltaista metsikköä maan keski- ja itäosista alueilta, jotka ovat inventointitietojen perusteella Suomessa merkittäviä harvennuskoivun hakkuualueita tulevaisuudessa. Metsiköt, joista 28 oli ensiharvennusemetsiköitä ja 20 toisen harvennusemetsiköitä, valittiin niiden metsänhoidollisen tilan ja potentiaalisen sahapuun kertymän perusteella tutkimuksen aineistoksi. Metsiköt sijaitsivat kivennäismailla mustikkatyypin tai käenkaali-mustikkatyypin kasvupaikoilla. Aineisto ositettiin istutusmetsiköihin (26 kpl), luontaisesti syntyneisiin metsiköihin (12 kpl) ja kuusi-koivusekametsiköihin (10 kpl). Sekametsiköt olivat kaikki yksijaksoisia ja niissä sekä koivun että kuusen osuuden tuli olla vähintään kolmannes runkoluvusta. Istutusmetsiköissä suurin osa puista oli istutettuja rauduskoivuja ja pieni osa luontaisesti syntyneitä hieskoivuja. Luontaisesti syntyneissä metsiköissä

ja kuusi-koivusekametsikoissa pääosa koivuista oli hieskoivuja.

Metsiköihin sijoitettiin kuvion koosta ja puustorakenteen tasaisuudesta riippuen yhdestä neljään maastokoealaa. Koepuita mitattiin yhteensä 109 metsikkökoealalta, joiden yhteispinta-ala oli 8,74 hehtaaria. Koealoilla kaikista rinnankorkeudelta yli 7 cm:n paksuisista koepuista mitattiin läpimitta, yläläpimitta, pituus, kuivaoksaraja ja latvusraja sekä kaikki sahapuun tekoon vaikuttavat laatuviat ja niiden korkeudet rungossa. Mittausryhmä merkitsi maastossa harvennuksessa poistettavat puut. Harvennustapa noudatti Tapion harvennusohjeita ja oli yhdistelmä alaharvennusta ja laatuharvennusta. Rauduskoivuja mitattiin 4612 ja hieskoivuja 3156 kappaletta.

Sahapuun kertymien laskemiseksi mitatut koepuut apteerattiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä apteeraussimulaattorilla. Laskennoissa käytettyjä puutavaralajeja olivat vaneritukki, sahatukki ja kuitupuu, joiden minimiläpimitat olivat 18 cm, 11 cm ja 7 cm. Koepuut apteerattiin kolmella vaihtoehdoisella apteeraustavalla, joilla havainnollistettiin tukin saantoa lyhyttä tukkipituutta (2,2 m) hakattaessa verrattuna tyypillisempään 3 metrin pituuteen ja vapaamittaisen kuitupuun hakkuuta 3 metrin määrämittaan verrattuna. Apteerauksissa 1 ja 3 sahatukin pituudet olivat 2,2 ja 3,3 metriä ja apteerauksessa 2 tukin ainoa sallittu pituus oli 3,0 metriä. Kuitupuulla käytettiin apteerauksissa 1 ja 2 likimittaista kolmen metrin pituutta (sallittu vaihteluväli 2,7–3,3 m) sekä apteerauksessa 3 vapaamittaista 2,5–5,0 metrin pituutta. Vanerikoivun tukkipituus oli kaikissa apteerausvaihtoehdoissa 3,1–5,5 metriä 3 desimetrin välimitoilla.

Koivusahatukin laatuun vaikuttavat ulkoiset viat jaettiin kahteen luokkaan. Ensimmäisessä luokassa oli sahatukiksi apteeraamisen estävät viat, joita olivat lenkous, tyvimutkat, monivääryys ja muut muotoviat (mutkat rungon keskiosassa, haarat ja pystyoksamaiset haarat). Toinen luokka määriteltiin sahapuun laatuluokkaa alentaviksi laatuviaksi, joita olivat oksikkuus (läpimitaltaan yli 3 cm paksut kuolleet oksat, oksaryhmät ja pystyoksat), laho ja pintaviat. Viat määritettiin ainoastaan yli 10 cm:n paksuiselta rungonosalta.

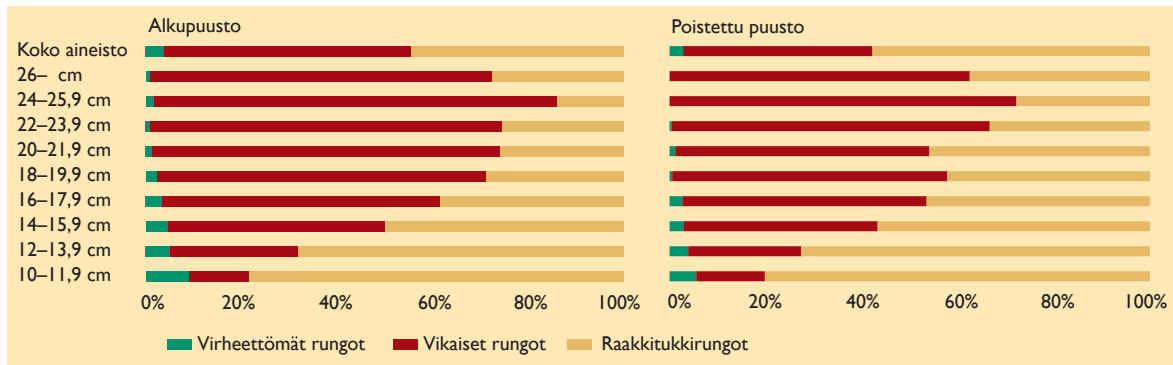
Koivujen keskimääräinen runkotilavuus oli ensiharvennuksissa 140 litraa ja muissa harvennuksissa

206 litraa. Myös koivujen keskiläpimitta ja -pituus jäivät pienemmiksi ensiharvennusekametsikoissa (14,4 cm ja 16,8 m) kuin toisen harvennuksen metsikoissa (16,8 cm ja 18,7 m). Puiden koosta johtuen myös ensiharvennuksissa kuivaoksaraja (keskimäärin 3,3 m) ja elävän latvuksen alaraja (7,7 m) olivat alempana kuin toisissa harvennuksissa (4,7 m ja 8,4 m).

Luontaisesti syntyneissä koivikoissa oli tutkimusaineiston järeimmät puut, niissä koivurunkojen keskitilavuus oli 187 litraa. Istutusmetsissä keskitilavuus oli 168 litraa ja sekametsissä 143 litraa. Luontaisesti syntyneet ja istutetut koivut olivat lähes yhtä pitkiä (molemmissa keskipituus 18,0 m), mutta luontaisesti syntyneet koivut olivat keskiläpimitaltaan (16,0 cm) hieman järempiä kuin istutusmetsiköiden koivut (15,3 cm). Sekapuustoissa koivujen keskiläpimitta jäi 15,9 cm:iin ja pituus 16,1 metriin. Kuivaoksaraja oli istutuskoivikoissa keskimäärin 3,7 metrin, luontaisesti syntyneissä koivikoissa 4,7 metrin ja sekametsikoissa 3,3 metrin korkeudessa. Istutetuissa metsikoissa koivut olivat ensiharvennuksissa kookkaampia ja myöhemmissä harvennuksissa hieman pienempiä kuin luontaisesti syntyneissä metsikoissa ja kuusi-koivusekametsikoissa.

Melkein 60 % harvennuksessa poistetuista ja 35 % jäävistä puista sisälsi laatuviikoja, joiden vuoksi sahatukiksi kelpavaa rungonosaa siirtyi tukista kuitupuuksi. Yleisimmät laatuviat olivat monivääryys (62 % kaikista koepuista), mutkat keskellä runkoa (53 %), ryhmäoksat (17 %) ja tyvimutkat (15 %). Muita vikoja havaittiin vain alle 10 prosentissa koepuista. Vikojen lukumäärissä havaittiin vain pieniä ositteiden välisiä eroja. Laatuviikoja oli yli 90 prosentissa koepuista kaikissa metsikkötyypeissä.

Osin vikojen määräyksestä ja osin koivujen ominaisuuksista johtuen pienissä koivuissa havaittiin sahapuun saantoa alentavia laatuviikoja selvästi vähemmän kuin paksummissa puissa (kuva 1). Kun 10,0–11,9 cm:n paksuissa koivuissa oli kokonaan virheettömiä runkoja jopa 9 %, paksummissa läpimittaluokissa virheettömiä oli vain 1 %. Pienissä koivuissa yksikin vika alensi koko rungon luokituksen kuitupuuksi, joten myös tukkipuuta siirtyi eniten kuitupuuksi laatuviikojen vuoksi juuri pienimmissä läpimittaluokissa. Vikojen vuoksi kuitupuuksi luokiteltuja runkoja oli läpimittaluokassa 10,0–11,9 cm 78 % kaikista koepuista ja läpimittaluokassa yli 26 cm vain 28 %.



**Kuva 1.** Vikaisten puiden osuudet rinnankorkeuslähimittaluokittain alkupuustossa (vasemmalla) ja harvennuksessa poistetussa puustossa (oikealla). Tukkipuokoiset koepuut luokiteltiin runkojen vikojen perusteella virheettömiin, vikaisiin ja raakkirunkoihin eli runkoihin, joista ei saada lainkaan sahatukkia.

Koivun sahapuukertymä oli apteerausvaihtoehdosta riippuen 11,7–18,2% hakkuukertymästä. Apteerausvaihtoehto, jossa tukkipituuksina olivat käytössä 2,2 ja 3,3 metriä sekä kuitupuulla 2,5–5,5 metrin vapaamitta, tuotti suurimman sahapuukertymän, 18,2%. Kuitupuulla 3 metrin määrämittan käyttö hakkuussa alensi sahatukkikertymää vain hieman, 17,6 prosenttiin. Sen sijaan vain 3 metrin pituisia tukkia apteerattaessa tukkisaanto aleni 11,7 prosenttiin hakkuukertymästä.

Sahatukkikertymä oli selvästi suurempi myöhemmissä harvennuksissa (12–19% koivun hakkuukertymästä) kuin ensiharvennuksissa (8–14%). Sahatukkikertymä oli suurin istutetuissa koivikoissa (12–19%). Korkein sahatukin kertymä saavutettiin istutuskoivikoiden myöhemmissä harvennuksissa (17–25%).

Tutkimus osoittaa, että puutavaralajien kertymiä voidaan ennustaa koivulla erityyppisissä harvennusemetsiköissä. Koivurunkojen koon, tukin dimensioiden ja rungon laadun perusteella istutusmetsiköiden rauduskoivu mutta myös sekametsiköiden koivu muodostavat varteenotettavan raaka-ainelähteen sahaus-, huonekalu- ja sisustustuotesektoreille.

■ MMM Harri Kilpeläinen, MMM Jari Lindblad, MMT Henrik Heräjärvi, Prof. Erkki Verkasalo, Metla, Joensuu  
Sähköposti harri.kilpelainen@metla.fi

Tapio Rantala

## Metsäsektoria ja luonnon-suojelua koskevan päätöksenteon demokraattinen legitimitetti – tutkimus suomalaisten lehtien yleisön-osastokeskustelusta

Seloste artikkelista: Rantala, T. 2011. Democratic legitimacy of forest and nature conservation decision-making in Finnish print media. *Silva Fennica* 45(1): 111–138.  
[www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf451111.pdf](http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf451111.pdf)

Tutkimus käsittelee metsiin liittyvien päätöksentekoprosessien legitimitettiä sellaisena kuin kansalaiset sen julkisessa keskustelussa ilmaisevat. Poliittikan legitimitetin eli hyväksyttävyyden muodostumista on tärkeä tutkia, jotta julkista päätöksentekoa, lakeja ja muuta politiikkaa voitaisiin suunnata paremmin kansalaisia palveleviksi ja vähentää tarpeettomia konflikteja. Legitiimi politiikka on myös tuloksellisempaa ja halvempaa, kun kansalaisten toimia tarvitsee valvoa vähemmän ja he ovat halukkaampia vapaaehtoisesti osallistumaan politiikan toteuttamiseen. Myös kansainvälisissä metsäpolitiikkaprosesseissa, kuten Rion prosessissa,

on yhä enemmän korostettu kansalaisten vaikutusmahdollisuuksia. Yhteiskunnan avoimuus lisääntynee edelleen, jolloin metsä- ja luonnonsuojelupolitiikan toimijoiden on tärkeä tuntea legitimizeettiin liittyvä käsitteistö ja ylipäättäänkin oppia yhä paremmin perustelemaan politiikkaprosesseja ja politiikan tuloksellisuutta julkisuudessa.

Legitimizeettii koskevia empiirisiä tutkimuksia on toistaiseksi vähän, mutta tiedetään, että legitimeettii pidetyn politiikan teon keskeisiä arvoja ovat hyvinvoinnin tuottaminen ja oikeudenmukainen jakaminen, luonnonsuojelun huomioon ottaminen, demokraattinen päätöksenteko ja politiikan toimeenpano hyvän hallinnon periaatteiden mukaisesti. Tässä tutkimuksessa keskitytään demokraattiseen legitimeettiiin, jolla tarkoitetaan kansalaisten arvioimaa päätöksentekoprosessien demokraattista laatua ihanteiden ja käytännön toimivuuden suhteen. Ihmiset kuvaavat demokraattista ja demokratialle vaihtoehtoista päätöksentekoa demokraattisten periaatteiden (ihanteet, arvot) avulla. Päätöksenteon toimivuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, kuinka päätöksenteolla onnistutaan kansalaisten arvioiden mukaan toteuttamaan mainittuja ihanteita.

Tutkimusaineisto koostuu yleisönosastokirjoituksista neljässä lehdessä (n=530) ja Suomen kansallisen metsäohjelman kirjallisista kommentteista (n=140). Tutkimuksen tavoite oli tunnistaa ja luokitella tyypilliset kielelliset ilmaukset, joita kansalaiset käyttävät demokratian ihanteiden kuvauksessa ja metsäalan päätöksentekoprosessien toimivuuden arvioinnissa.

Demokratian ja vaihtoehtoisten päätöksentekomuotojen kannatukseen liittyviä kielellisiä ilmaisuja (ihmisten käyttämiä arkikäsitteitä) voidaan luokitella seuraavasti: (A) demokratian ja sen vaihtoehtojen kannatus yleisellä tasolla, (B) demokraattisten ja vaihtoehtoisten osallistumismuotojen kannatus ja (C) demokraattisten ja demokratian vastaisten periaatteiden (arvojen) kannatus ja vastustus. Demokraattiset periaatteet jaotellaan tutkimuksessa edelleen 1) liberaalis-demokraattisiin perusarvoihin (core regime principles) ja periaatteisiin, jotka liittyvät demokraattisen päätöksentekoprosessin vaiheisiin; näitä ovat 2) syötteet ja valmistelu (input), 3) päätöksenteko/käsittely (throughput) ja 4) tuotokset (output).

Demokraattinen legitimeetti osoittautui merkittä-

väksi osaksi metsäalan hyväksyttävyyttä julkisessa keskustelussa, sillä yli puolessa aineiston kirjoituksista arvioitiin hyväksyttävyyttä demokratiaan viitaten. Useimmin mainitut perusarvot olivat sananvapaus, metsäalan hyvä kotimainen ja ulkomainen maine, edelläkävijyys, sekä kotimaisten lakien ja ulkomaisten sopimusten noudattaminen. Prosessien valmisteluun liittyvät yleisimmät periaatteet olivat kansan itsemääräämisoikeus, oikeus tulla kuulluksi, kansalaisten laaja osallistuminen, avoimuus, vaihtoehtojen esittäminen ja asioiden kiireysjärjestyksen määrittäminen. Tärkeimmät päätöksentekoperiaatteet olivat konsensus- ja enemmistöperiaatteet. Yleisimmät prosessin tuotoksiin liittyvät periaatteet olivat poliittinen vastuumekanismi, päättäjien moraalinen vastuullisuus, yhteistyöhakuisuus, sitoutuminen päätöksiin, tuotosten vastaavuus kansalaisten toiveiden kanssa, prosessin uskottavuus, kokonaisvaltaisuus ja päätösten ymmärrettävyys. Tulokset viittaavat siihen, että kansalaisten välillä ei ole kovinkaan paljon erimielisyyttä demokratian periaatteista, mutta sen sijaan metsäpoliittisten päätöksentekoprosessien toimivuudesta on paljon erimielisyyttä. Prosesseista tehdyt negatiiviset arviot olivat aineistossa kaksi kertaa yleisempiä kuin positiiviset arviot.

Päätöksenteon perustaminen traditioihin – mikä on eräs klassisten legitimeettitutkimusten keskeisimmistä legitimeettii muodoista – ei saa juurikaan kannatusta. Demokraattiset osallistumismuodot, kuten osallistuva suunnittelu, saavat kannatusta. Suoraa toimintaa pidetään useammin epälegitimeettii kuin legitimeettiiin. Epädemokraattiset hallintojärjestelmät (kuten itsevaltaiset tai kollektivistiset hallinnon muodot), toimivat julkisessa keskustelussa epälegitimeettiiin lähtienä – politiikan tekemistä tai toimijoita verrataan niihin, kun se halutaan esittää negatiivisessa valossa.

Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että julkinen keskustelu saattaa poiketa yksityisestä ajattelusta ja esimerkiksi anonyymistä verkkokeskustelusta, nämä erot ovat tärkeä jatkotutkimuksen aihe. Samoin tulisi vertailla nyt metsäsektoria koskevasta aineistosta saatuja tuloksia legitimeettii muodostamiseen muilla politiikan sektoreilla ja muissa maissa. Osa periaatteista, esimerkiksi edelläkävijyys, saattavat olla erityisesti Suomen metsäalalle luonteellisia.

Tuloksia voidaan vertailla normatiivisten demokrateorioiden rikkaaseen – ja kirjavaan – joukkoon. Kun keskeisten demokrateorioiden periaatteet kootaan yhteen, saadaan kokonaisuutena tämän tutkimuksen aineiston kanssa yllättävän samanlainen käsitys demokratialle olennaisista periaatteista. Yksittäiset julkisen keskustelun mielipiteet eivät sinänsä näytä perustuvan erityisen jäsennellyille käsityksille demokratian kokonaisuudesta, mutta kaikkineen metsäpoliittisessa keskustelussa käytetään politiikan arvioinnissa laajaa joukkoa keskeisiä länsimaisia arvoja.

■ Tutkija Tapio Rantala, Helsingin yliopisto,  
metsätieteiden laitos  
Sähköposti [tapio.rantala@helsinki.fi](mailto:tapio.rantala@helsinki.fi)

Jouni Siipilehto

## Metsikön rakenteen kuvaaminen lineaarisen ennustamisen teorian avulla

Seloste artikkelista: Siipilehto, J. 2011. Local prediction of stand structure using linear prediction theory in Scots pine-dominated stands in Finland. *Silva Fennica* 45(4): 669–692.

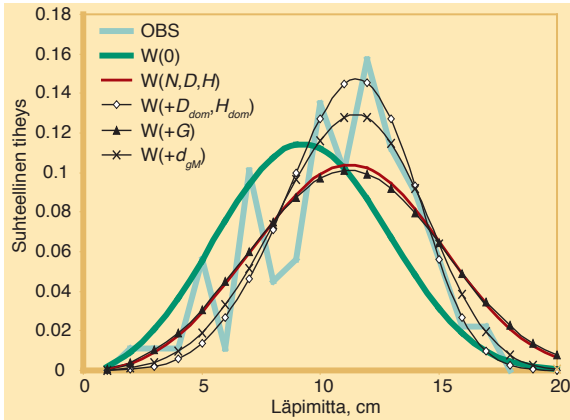
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf454669.pdf>

**M**etsäsuunnittelussa ja metsikkösimulaattoreissa tarvitaan puuston kokojakaumamalleja, joiden avulla metsikön puustotunnustiedot muutetaan metsikön kuvauspuiksi. Metsäsuunnittelussa arvioitavat puustotunnukset eivät ole aina yhteensopivia malleissa tarvittavien puustotunnusten kanssa. Ongelman ratkaisemiseksi on yleensä laadittu erillisiä malleja tarvittavan puustotunnuksen ennustamiseksi. Erillisten mallien sijaan kuusikon puustotunnuksista on laadittu malliperhe kalibrointiin perustuvana sovelluksena. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli

laatia malliperhe mäntyvaltaisten metsiköiden puuston rakenteen ennustamiseksi. Kalibroittavat mallit laadittiin tärkeimmille puustotunnuksille, kolmelle vaihtoehdoiselle läpimittajakaumalle ja pituuskäyrälle. Aineisto käsitti 752 VMI-verkkoon perustettua pysyvää INKA- ja TINKA-kokeiden mäntyvaltaista metsikköä. Kukin metsikkö sisälsi kolme ympyräkoealaa. Koealat yhdistettiin, jolloin metsikön puustotunnukset ja jakaumat saatiin määritettyä n. 100–120 mitatusta puusta. Koealat oli mitattu kolmeen kertaan vuosien 1976 ja 2001 välisenä aikana. Metsikkökoealosta arvottiin 75 % mallien laadintaan ja 25 % jätettiin mallien testaukseen.

Ensimmäisessä vaiheessa puutason mittausaineistoon sovittiin läpimittajakaumat ja pituuskäyrät metsikkökoealoittain. Toisessa vaiheessa laadittiin mallit puuston pohjapinta-alalle ( $G$ ), runkoluvulle ( $N$ ), aritmeettiselle keskiläpimitalle ( $D$ ) ja -pituudelle ( $H$ ), pohjapinta-alan mediaaniläpimitalle ( $d_{gM}$ ) ja -pituudelle ( $h_{gM}$ ) sekä valtaläpimitalle ( $D_{dom}$ ) että -pituudelle ( $H_{dom}$ ). Samalla laadittiin ennustemallit ensivaiheessa estimoiduille parametreille, jotka edustivat painottamatonta ja pohjapinta-alalla painotettua Weibull-jakaumaa sekä painotettua SB-jakaumaa ja Näslundin pituuskäyrää. Laaditut perusmallit tuottivat odotusarvot metsikön sijainnin (lämpösumma), kasvupaikan (lisämääreinä kivisyys ja soistuneisuus), puuston keski-ian ja syntyttävän (luontainen, kylvä tai istutettu) funktiona. Mallit oletettiin tulo-  
muotoisiksi. Ne linearisoitiin logaritminmuunnoksen avulla ja samalla varianssi homogenisoitui. Mallit estimoituihin yhtäaikaaisesti ns. SUR-malleina, jolloin mallien virheiden väliset riippuvuudet hyödynnettiin mallien estimoinnissa.

Mallit kalibroitiin tunnettujen puustotunnusten avulla lineaarisen ennustamisen teorian mukaisesti. Kalibroitu tunnus on ns. paras lineaarinen harhaton ennustin (BLUP). BLUP-estimaatin laskemiseksi tarvittiin varianssi-kovarianssimatriisi mallien virheistä. Mallin virhevarianssia tarvittiin harhankorjaukseen takaisinmuunnoksen yhteydessä. Siksi ennusteen lisäksi myös varianssi kalibroitiin, kun uusia puustotunnuksia tuotiin malliin. Mallien odotusarvot olivat loogisia, mutta samalla ne olivat voimakkaasti keskiarvoistavia. Puustotunnuksia kalibroitaessa huomattiin, että männiköiden puustotunnusten väliset riippuvuudet olivat lähes identtiset aikaisemmin kuusikoista saatujen tulosten kanssa.



**Kuva 1.** Esimerkki BLUP-estimoinnista Weibull-jakauman tiheysfunktioiksi MT männikössä Etelä-Suomessa.  $W(0)$  edustaa odotusarvoa,  $W(N, D, H)$  on kalibroitu runkoluvulla, keskiläpimitalla ja -pituudella;  $W(+D_{dom}, H_{dom})$  on kalibroitu edellisten lisäksi valtaläpimitalla ja -pituudella jne.

Kun läpimittajakaumaa kalibroitiin taimikon tiheydellä, niin lisääntynyt tiheys siirsi jakauman huippua vasemmalle ja samalla jakauma muuttui enemmän oikealle vinoksi. Lisäksi huomattiin, että kalibroidusta jakaumasta laskettu keskiläpimitta ja pohjapinta-ala oli lähes sama kuin 2000–8000 ha<sup>-1</sup> runkoluvulla kalibroitu vastaava puustotunnus. Kuvassa 1 on esitetty Weibull-runkolukusarjan odotusarvo ja kalibroidut ennusteet eräälle 21-vuotiaalle tuoreen kankaan männikölle Etelä-Suomessa. Odotusarvojakauma ei ollut yhteensopiva havaitun jakauman kanssa, koska keskiläpimitan 9 cm:n odotusarvo oli havaittua 11 cm:n keskiläpimittaa pienempi. Mallin kalibrointi tyypillisillä nuorten metsien puustotunnuksilla  $N$ ,  $D$  ja  $H$  sai jakauman keskiläpimitan kohdalleen, mutta jakaumasta tuli samalla liian leveä. Pohjapinta-alan lisääminen selittäjäksi (+ $G$ ) ei muuttanut edellistä ennustetta juuri lainkaan. Sen sijaan valtapuutunnukset (+ $D_{dom}$ ,  $H_{dom}$ ) ja ylimääräinen keskitunnus (+ $d_{gM}$ ) tuottivat hyvän yhteensopivuuden havaitun jakauman kanssa (ks. kuva 1).

Lopullisessa vertailussa vaihtoehtoisia jakaumia tarkasteltiin ennustetuista jakaumista laskettujen puustotunnusten luotettavuuden avulla. Kun puuston eri kehitysvaiheisiin haettiin parhaiten sopivaa jakaumaa, tärkeimmäksi valintaperusteeksi osoittautui

jakauman ja puustotunnusten sama mitta-asteikko. Siten Weibull-jakauman painottamaton runkolukusarja osoittautui parhaaksi vaihtoehdoksi taimikoissa, joissa puustotunnukset oletettiin tunnetuksi aritmeettisessa mittakaavassa. Varttuneissa puustoissa pohjapinta-alalla painotetut jakaumat olivat tarkempia kuin runkolukusarja, kun puustotunnukset oletettiin pohjapinta-alalla painotetuiksi.

Ennustetun jakauman tarkkuus parani kalibrointi-muuttujan osalta, mutta se ei välttämättä merkinnyt muiden puustotunnusten tarkentumista. Taimikoissa  $D_{dom}$  ja  $H_{dom}$  olivat tehokkaita Weibull-runkolukusarjaa kalibroitaessa, mutta  $D_{dom}$  aiheutti häirintää taimikoiden tilavuustunnuksiin, jos sitä käytettiin painotettujen Weibull- ja SB-jakaumien kalibroimiseksi. Tämä saattoi johtua oletetun lineaarisuuden vastaisesta valtaläpimitan ja painotettujen jakaumien parametrien välisestä riippuvuudesta. Tehokkain kalibrointi saavutettiin, kun malleissa oli samanaikaisesti sekä aritmeettinen keskiläpimitta että painotettu mediaaniläpimitta. Varttuneissa metsiköissä runkoluvulla kalibroiminen tarkensi etenkin SB-jakauman tuottamia tilavuustunnuksia. Näslundin pituuskäyrä osoittautui erittäin käyttökelpoiseksi ja sen parametrit kalibroituivat tehokkaasti.

Lineaarisen ennustamisen menetelmä tarjosi joustavan tavan kuvata sekä puustotunnusten keskinäistä riippuvuutta että puustotunnusten ja parametrien välistä riippuvuutta. Periaatteessa kovarianssimatriisin avulla jakaumien ja pituuskäyrän parametreille on olemassa 255 vaihtoehtoista lineaarista mallia, jos kahdeksaa puustotunnusta voidaan vapaasti yhdistellä kalibrointimuuttujiksi. MOTTI-simulaattorissa sovelletaan aikaisempia malleja puustotunnusten iänmukaisen kehityksen ennustamiseksi taimikkovaiheessa. Uudet mallit on tarkoitettu käytäntöön sovellettaviksi ja liitettäväksi MOTTI-simulaattorin uuteen mallisukupolveen.

■ MMT Jouni Siipilehto, Metla, Vantaa  
Sähköposti jouni.siipilehto@metla.fi

Jouni Siipilehto

## Menetelmiä ja sovelluksia metsikön rakenteen ennustemallien parantamiseksi Suomessa

Seloste väitöskirjasta: Siipilehto, J. 2011. Methods and applications for improving parameter prediction models for stand structures in Finland. *Dissertationes Forestales* 124.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df124.htm>

Metsikön rakenteella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa elävien puiden läpimitta- ja pituusjakaumia. Suomessa metsikön rakenteen kuvaus on perustunut 1980-luvulta lähtien pohjapinta-alan läpimittajakaumien ennustamiseen. Ennustemalleissa on käytetty pääasiassa parametrisia jakaumafunktioita, kuten beta- ja Weibull-funktioita. Käytössä olleiden mallien selittävästä muuttujista johtuu, että luonnossa havaittavaa suurta vaihtelua metsikön rakenteessa ei ole saatu kuvattua. Olemassa olevien mallien vaatimat puustotunnukset eivät myöskään ole yhdenmukaisia metsäsuunnittelussa ja metsien inventoinneissa nuorista metsistä kerätyn tiedon kanssa. Metsikön rakenteen kuvaus on ollut puutteellista taimikoiden ja turvemaiden osalta. Lisäksi metsäsuunnittelun kannalta olemassa olevat puiden pituusmallit eivät näytä hyödyntävän suunnittelutietoa tehokkaasti.

Väitöskirjatyöni tavoitteena oli kehittää menetelmiä ja sovelluksia metsikön rakenteen ennusteen tarkentamiseksi. Alustavien jakaumatutkimusteni aineistot sekametsikoista olivat paikallisia, mutta lopullisten mallien aineistot kattoivat koko Suomen. Näitä olivat valtakunnan metsien inventoinnin koelaverkkoon arvotut ns. INKA- ja TINKA-kokeet sekä ojitetuille rämeille perustetut kokeet pitkine aikasarjoineen, pisimmillään jopa 80 vuoden seuranta. Kattavista aineistoista laaditut mallit olivat sopivia käytäntöön sovellettaviksi. Kehitettyjä malleja arvioitiin ennustetuista jakaumista lasketujen puustotunnusten, kuten kokonais-, kuitu- ja tukkipuutilavuuden luotettavuutta tarkastelemalla.

Puustotunnusten lisäksi käytettiin jakaumien yhteensopivuustestiä ja virheindeksiä vaihtoehtoisten mallien paremmuusjärjestyksen selvittämiseksi.

Perinteisesti läpimittajakauma kuvataan yhdes- sä pituuden odotusarvon kanssa, jolloin pituuden reunajakauma supistuu. Sen sijaan kaksikulotteisella jakaumalla voidaan kuvata yhtäaikaaisesti läpimittaluokkien välinen ja sisäinen pituusvaihtelu. Kaksikulotteisen SBB-jakauman ennustemallilla saatiin kuvattua läpimitan ja pituuden välinen luonnollinen vaihtelu. SBB-jakaumaan verrattava vaihtoehto saatiin, kun käytettiin pituusmallin virhetermiä pituuden satunnaistamiseksi. Jälkimmäistä vaihtoehtoa sovellettiin myöhemmin testiaineiston laadinnassa niille puille, joilta pituustieto puuttui.

Väitöskirjassa verrattiin Weibull- ja Johnsonin SB-jakaumafunktioita. Pääasiassa runkolukutietoa tarkasteltiin lisäinformaationa, mutta myös muita puustotunnuksia kokeiltiin lisäselittäjinä ennustemalleissa. Erilaisina regressiomallin estimointimenetelminä verrattiin perinteistä OLS menetelmää edistyneempiin mixed, SUR ja mixed-SUR menetelmiin. Näille malleille oli yhteistä se, että jakaumat sovitettiin ensin aineistoon metsiköittäin ja puulajeittain. Saatuja parametreja pidettiin tosiarvoina, kun niille laadittiin ennustemallit puustotunnusten funktiona. Taimikön pituusjakauman ennustemallien laadinnassa kokeiltiin lisäksi puutason aineistoon sovitettua yleistettyä lineaarista mallia (GLM). Metsikön puustotunnusten, vaihtoehtoisten jakaumafunktioiden ja pituusikäyrän ennustamiseksi laadittu malliperhe hyödynsi mallien virheiden välistä riippuvuutta ns. lineaariseksi ennustamiseksi. Siinä tunnettuja puustotunnuksia käytettiin tuntemattomien puustotunnusten ja tuntemattomien parametrien ennusteiden kalibroimiseksi. Tällä sovelluksella etsittiin metsikön eri kehitysvaiheisiin sopivia puustotunnusten yhdistelmiä ennusteen tarkkuuden parantamiseksi. Tätä sovellusta käyttäen myös laadittujen vaihtoehtoisten mallien vertailu oli joustavaa.

### Johtopäätökset väitöskirjan tuloksista

**Jakaumafunktion valinta** ei ollut niin merkittävä, kuin olisi voinut olettaa. Teoreettisesti joustavamman SB-jakauman parametrien ja puustotunnusten välinen riippuvuus oli heikko, kun taas Weibull-ja-



kauman parametrit kalibroituivat tehokkaasti useiden puustotunnusyhdistelmien kanssa. Pohjapinta-alan läpimittajakaumana Weibull- ja SB-jakaumat olivat keskenään vertailukelpoisia, mutta ylimääräinen runkolukutieto hyödytti enemmän SB-jakauman kuin Weibull-jakauman kalibrointia tai regressiomallinnusta.

**Mallin muotoilu** oli merkittävin yksittäinen tekijä mallien tarkkuuden parantamiseksi. Tämä tuli selvästi esiin rämeiden läpimittajakaumien ja taimikoiden pituusjakaumien ennustemallien laadinnan yhteydessä. Kummassakin tapauksessa kiinnitettiin erityistä huomiota tehokkaiden muunnosten löytämiseksi. Muunnoksilla jakaumaparametrien ja selittävien puustotunnusten välinen riippuvuus linearisoitiin ja jäännösvarianssi homogenisoitiin. Tutkimuksessa esiteltiin ns. muotoindeksi, jossa yhdistettiin metsikön pohjapinta-ala, runkoluku ja mediaaniläpimitta havaitun ja laskennallisen pohjapinta-alan suhdeluvuksi. Muotoindeksin avulla ojitetuille rämeille laaditulla SB-jakaumamallilla pystyttiin luotettavasti kuvaamaan metsiköiden tiheysvaihtelu. Kyseinen malli osoittautui käyttökelpoiseksi myös kivennäismaille sovellettaessa. Weibull-funktion prosenttiosuusestimattorista johdettu muunnos valta- ja keskipituuden suhteeksi oli tehokas taimikoiden pituusjakauman muodon ennustamiseksi. Näiden muunnosten avulla muoto-parametrien ennustemallien selitysasteet olivat 74–96 %. Ilman ko. muunnoksia selitysasteet vaihtelivat 5–39 %:n välillä. Lopullisia mallien muotoiluja voidaan pitää onnistuneina.

**Tilastollisen menetelmän merkitys** mallin kyvyssä ennustaa metsikön rakennetta oli looginen mutta vaatimaton. Kaikki verratut regressiomallit toimivat hyvin, mutta mallien ennusteet paranivat hiukan tilastollisen menetelmän edistykseisyyden myötä.

**Selittävien puustotunnusten valinta** osoittautui kaksijakoiseksi. Metsäsuunnittelun perinteiset kolme puustotunnusta olivat melko tehokkaita, kun tarkasteltiin tilavuustunnusten tarkkuutta. Vartuneissa puustoissa tämä merkitsi noin 2 %:n keskivirhettä kokonaistilavuudessa. Uudet puustotunnukset pystyivät parantamaan mallien tarkkuutta, mutta merkittävä parannus saatiin valitettavan usein vain

kyseiseen uuteen puustotunnukseen. Esimerkiksi runkoluvun lisääminen malliin paransi ennustetusta jakaumasta johdetun runkoluvun tarkkuutta. Se ei kuitenkaan vaikuttanut samanaikaisesti valta-puustotunnusten tarkkuuteen, mutta tarkensi hieman tilavuustunnuksia. Valtapituus oli hyödyllinen tunnus etenkin taimikoissa. Sen sijaan valtaläpimitta aiheutti huolestuttavan harhaisia tilavuustunnuksia, kun painotettuja jakaumia sovellettiin taimikoissa. Keskiläpimitta yhdessä pohjapinta-alan mediaaniläpimitan kanssa oli tehokkain yhdistelmä niin harhan kuin keskivirheen pienentämiseksi.

Tehtyjen vertailulaskelmien perusteella pituusjakamaa suositellaan käytettäväksi nuorissa taimikoissa pituusjakauman jatkuvan luonteen vuoksi. Kun keskipituus kasvaa yli neljän metrin, rinnankorkeusläpimittaan perustuva runkolukusarjamalli on paras vaihtoehto nuorissa metsiköissä, joissa puustotunnukset oletetaan aritmeettisiksi. Vartuneissa metsissä puustotunnukset arvioidaan tyyppillisesti pohjapinta-alalla painotettuna, jolloin vastaavasti painotetut jakaumat ovat luotettavampia kuin painottoman runkolukusarja.

Näslundin pituusikäyrä osoittautui erittäin käyttökelpoiseksi puun läpimitan ja pituuden välistä riippuvuutta ennustettaessa. Tunnettu keskiläpimitta ja -pituus antaa selkeän kuvan pituusikäyrän kaltevuudesta. Jos lisäksi tunnetaan valtaläpimitta ja -pituus, myös käyrän taipuminen saadaan kuvattua. Näslundin käyrä oli sekä helppo sovittaa aineistoon että soveltaa ennustamiseen.

Väitöskirjassa esitetyt metsikön rakennetta kuvaavat mallit luovat vankan pohjan metsäsuunnittelun ja metsikkösimulaattoreiden apuvälineiksi. Lisäksi joustavalle lineaarisen ennustamisen menetelmälle voidaan odottaa myös uusia metsäalan sovelluskohteita.

■ MMT Jouni Siipilehto, Metla, Vantaa  
Sähköposti jouni.siipilehto@metla.fi