

Henna Vartiamäki, Jarkko Hantula ja Antti Uotila

Koivun karsintahaavojen infektiotalttius purppuranahakkasienelle

Seloste artikkelista: Vartiamäki, H, Jantula, J, Uotila, A. 2009. Susceptibility of silver birch pruning wounds to infection by white-rot fungus (*Chondrostereum purpureum*), a potential bioherbicide. *Silva Fennica* 43(4): 537–547. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf434537.pdf>

Lehtipuiden nopea kasvu ja vesominen ovat ongelmana monilla kohteilla, kuten havupuutaimikoissa, voimajohtojen alla ja tienvarsilla. Tehokkaita kemiallisia vesakontorjunta-aineita käytettiin runsaasti vielä 1980-luvulla, mutta haitallisten ympäristövaikutusten vuoksi niiden käytöstä on lähes kokonaan luovuttu. Nykyään vallitseva vesakontorjuntamenetelmä on mekaaninen vesakontorjunta raivaussahan tai -koneiden avulla. Ongelmana on, että lehtipuut kasvattavat nopeasti uusia vesoja katkaistujen tilalle ja raivaus joudutaan suorittamaan uudelleen muutaman vuoden välein. Niinpä uusien tehokkaiden ja ympäristölle ystävällisten vesakontorjuntamenetelmien kehittämiseksi on tarvetta.

Biologista vesakontorjuntaa purppuranahakkasien (*Chondrostereum purpureum*) avulla on tutkittu 1980-luvulta lähtien mm. Hollannissa ja Kanadassa ja sen on todettu olevan varteenotettava vaihtoehto eri lehtipuulajien vesakontorjunnassa. Kanadassa on jo markkinoilla purppuranahakan rihmastoa sisältäviä kaupallisia biologisia vesakontorjuntatuotteita, mutta Suomessa tuotetta vasta kehitetään. Ennen sen tuotteistamista on tutkittava käsittelyn ympäristövaikutukset.

Purppuranahakkakäsittelyn ympäristövaikutuksia tutkittiin selvittämällä sienien infektiotehokkuutta vastakarsituilla rauduskoivuilla (*Betula pendula*) eri kasvukauden ajankohtina. Tavoitteena oli arvioida, onko koivujen karsimista tarpeen välttää nii-

den alueiden lähistöllä, joissa purppuranahakkaa on käytetty biologiseen vesakontorjuntaan.

Koe perustettiin kesällä 2005 karsimalla koivuja kuukauden välein huhtikuusta lokakuuhun. Yhdellä karsintakerralla karsittiin 30 puuta, joista 10 puun karsintahaavat käsiteltiin purppuranahakan rihmastoa sisältävällä liuoksella välittömästi karsinnan jälkeen, 10 puun karsintahaavat käsiteltiin vastaavalla liuoksella mutta ilman rihmastoa ja 10 puuta vain karsittiin. Kaksi viimeistä ryhmää toimivat kontrolleina. Karsinta suoritettiin karsintasahalla ja liuos levitettiin karsintahaavoihin suihkupullolla. Koepuut kaadettiin syksyllä 2007 ja puista sahattiin eri korkeuksilta kiekkoja, joista selvitettiin lahon ja värivian leviäminen.

Kasvukauden ajankohta vaikutti koivujen alttiuteen saada purppuranahakkainfektio. Purppuranahakalla käsitellyissä puissa 33,3–92,7 % kiekkoista esiintyi värivikaa tai lahoa yli 5 % kiekon pinta-alasta riippuen karsinta-ajankohdasta. Kontrollipuissa värivikaa tai lahoa esiintyi vain 0–25 % kiekkoista. Purppuranahakalla käsitellyissä puissa värivikaa tai lahoa oli kiekon pinta-alasta keskimäärin 5–33 % riippuen karsinta-ajankohdasta, kun taas kontrollipuissa värivikaa tai lahoa oli kiekon pinta-alasta 0,1–2,9 %. Rauduskoivut olivat altteimpia purppuranahakkatartunnalle keväällä. Yleisimmin ja laajimmalle laho oli levinnyt karsintahaavasta terveeseen puuhun, kun puut oli karsittu ja käsitelty purppuranahakan rihmastolla toukokuussa.

Tässä tutkimuksessa koivun karsintahaavat käsiteltiin purppuranahakan rihmastoa sisältävällä liuoksella välittömästi karsinnan jälkeen. Tuloksia tulkittaessa on muistettava, että sienien luontainen leviäminen tapahtuu itiöiden avulla tuulen mukana, jolloin karsintahaavojen infektioste on todennäköisesti huomattavasti pienempi kuin tässä tutkimuksessa.

■ MMT Henna Vartiamäki, prof. Jarkko Hantula, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö; MMT Antti Uotila, Helsingin yliopisto, Hyttiälän metsäasema. Sähköposti henna.vartiamaki@metla.fi

Timo Pukkala

Populaatiomenetelmät metsikön käsittelyohjelman optimoinnissa

Seloste artikkelista: Pukkala, T. 2009. Population-based methods in the optimization of stand management. *Silva Fennica* 43(2): 261–274.
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf432261.pdf>

Tärkeimmät metsikön käsittelyyn liittyvät päätökset ovat uudistushakkuun ajoitus sekä harvennusten ajoitus, voimakkuus ja toteutustapa (esim. yläharvennus, alaharvennus). Jos tavoitellaan taloudellista kannattavuutta, hakkuut tulisi tehdä niin että vastaisten nettotulojen nykyarvo maksimoituu. Metsikön käsittelyn suunnittelussa haetaan siis sellaista hakkuuvuosien, harvennusvoimakkuuksien ja harvennustapojen yhdistelmää, joka maksimoi nykyarvon. Koska mahdollisia hakkuuyhdistelmiä on lukemattomia, apuna käytetään optimointitekniikoita, jotka löytävät melko nopeasti hyviä hakkuuohjelmia ilman, että läheskään kaikkia mahdollisia vaihtoehtoja tarvitsee tutkia. Optimointiterminologiassa hakkuuiden ajankohtia, harvennusvoimakkuuksia ja harvennustapoja nimitetään päätösmuuttujiksi. Tavoitteena on löytää optimaalinen päätösmuuttujien yhdistelmä eli optimaalinen päätösmuuttujavektori. Päätösmuuttujavektorista voidaan käyttää myös nimityksiä ratkaisu ja ratkaisuvektori.

Suomessa metsikön tietyn hakkuuohjelman nykyarvo lasketaan yleensä simulaattorilla, johon on ohjelmoitu puun läpimitan ja pituuden kasvumalleja, runkokäyrämalleja, kuolemismalleja jne. Simulaattori voidaan ajatella metsikön tuotantofunktioksi. Metsikön kehityksen simuloinnissa käytetään apuna kuvauspuita (koepuita), joista kukin edustaa osaa metsikön todellisista puista. Kuvauspuiden käytön vuoksi esim. metsikön arvo voi simuloinnissa yhtäkkiä muuttua, kun jokin kuvauspuu saavuttaa tukkipuun minimikoon. Simulaattorit ovat varsin monimutkaisia tuotantofunktioita, joiden vastepinnat ovat epätasaisia, ja joissa voi olla epäjatkuvuuskohtia.

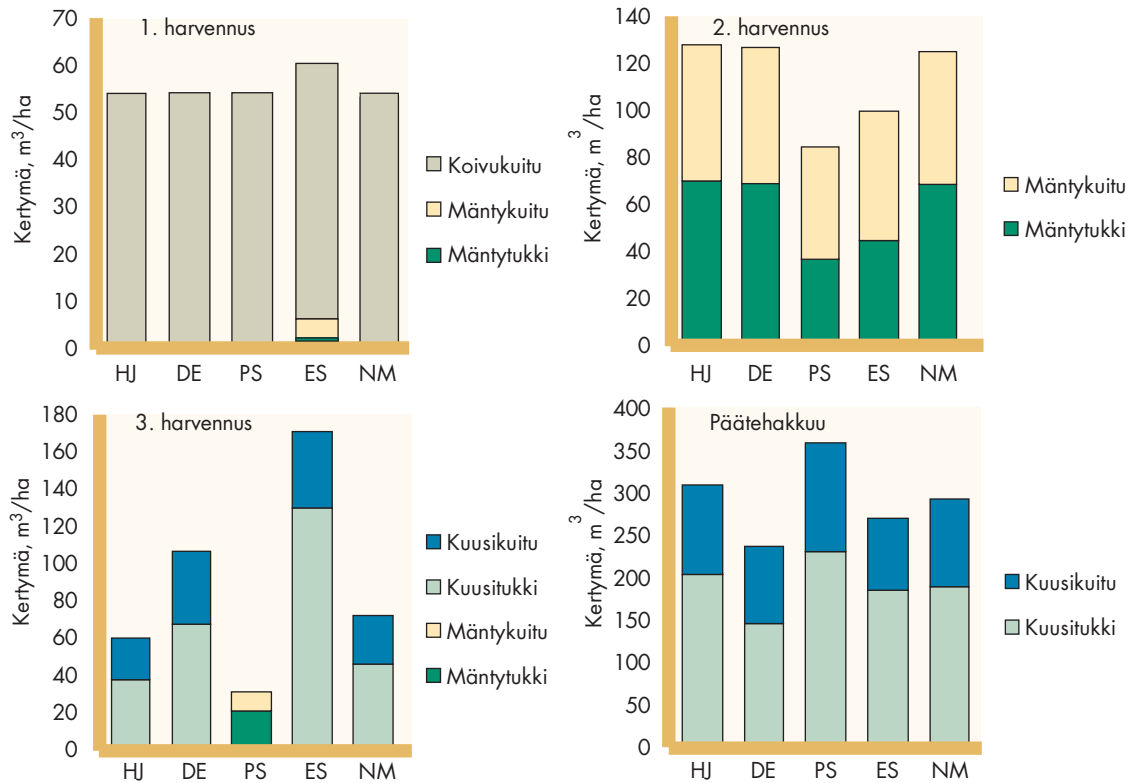
Kun maksimoitava tuotantofunktio on epätasainen tai epäjatkuva, optimoinnissa voidaan käyttää erilaisia suorahakumenetelmiä, joista Hooken ja Jeeve-

sin menetelmä on metsätaloudessa eniten käytetty. Hooken ja Jeevesin menetelmässä muutellaan yhtä päätösmuuttujavektoria. Viime aikoina on kehitetty uudentyyppisiä suorahakumenetelmiä, jotka edustavat evoluutiolaskentaa. Niissä pyritään parantamaan useasta päätösmuuttujavektorista muodostuvaa ratkaisupopulaatiota käyttäen samantapaisia keinoja, joita evoluutio käyttää lajinkehityksessä. Yhteinen piirre eri menetelmille on, että eri päätösmuuttujavektoreita yhdistellään eli risteytetään tavoitteena löytää uusia, aiempia parempia vektoreita. Kun populaation koko pidetään vakiona heikoimpia ratkaisuja poistamalla, populaation keskimääräinen laatu (pätösmuuttujavektoreita vastaavien käsittelyohjelmien nykyarvo) paranee optimointiprosessin edetessä. Optimointitehtävän ratkaisu koostuu parhaan vektorin muuttujanarvoista viimeisen iteraation eli sukupolven lopussa.

Tutkimuksessa testattiin neljän populaatiomenetelmän toimivuutta metsikön käsittelyohjelman optimoinnissa: differentiaalievoluutio (differential evolution), hiukkasparvioptimointi (particle swarm optimization), evoluutiostrategia (evolution strategy), sekä Nelder-Mead-menetelmä, josta käytetään myös nimityksiä ameebahaku ja polytooppihaku. Hooken ja Jeevesin menetelmää käytettiin vertailukohtana. Tietyn ratkaisun arvo laskettiin simuloimalla metsikön kehitystä kiertoajan loppuun, simuloiden hakkuut päätösmuuttujien osoittamalla tavalla, ja laskemalla nykyarvo näin saadun hakkuuohjelman tuottamista tuloista ja menoista.

Kun eri menetelmillä optimointiin yksittäisen, neljästä puusto-ositteesta koostuvan mänty-kuusi-koivu-sekametsikön käsittelyä, saatiin eri menetelmillä suunnilleen sama käsittelyehdotus: ensin tuli poistaa koivut, sitten männyt ja viimeksi kuuset. Ensimmäiset kuuset poistettiin yleensä kolmannessa harvennuksessa, joka oli yläharvennus, ja loput päätehakkuussa. Menetelmien välillä oli kuitenkin eroja (kuva 1). Tämän metsikön optimoinnissa suurimman nettotulojen nykyarvon tuottivat Nelder-Mead-menetelmä ja differentiaalievoluutio.

Kuvassa 2 on havainnollistettu nykyarvon kehittymistä optimointiprosessin aikana eri populaatiomenetelmissä. Evoluutiostrategiassa ja Nelder-Mead-menetelmässä parhaan ja huonoimman ratkaisuvektorin välinen ero kaventuu selvästi nopeammin kuin muissa menetelmissä. Tämä johtuu siitä, että näissä



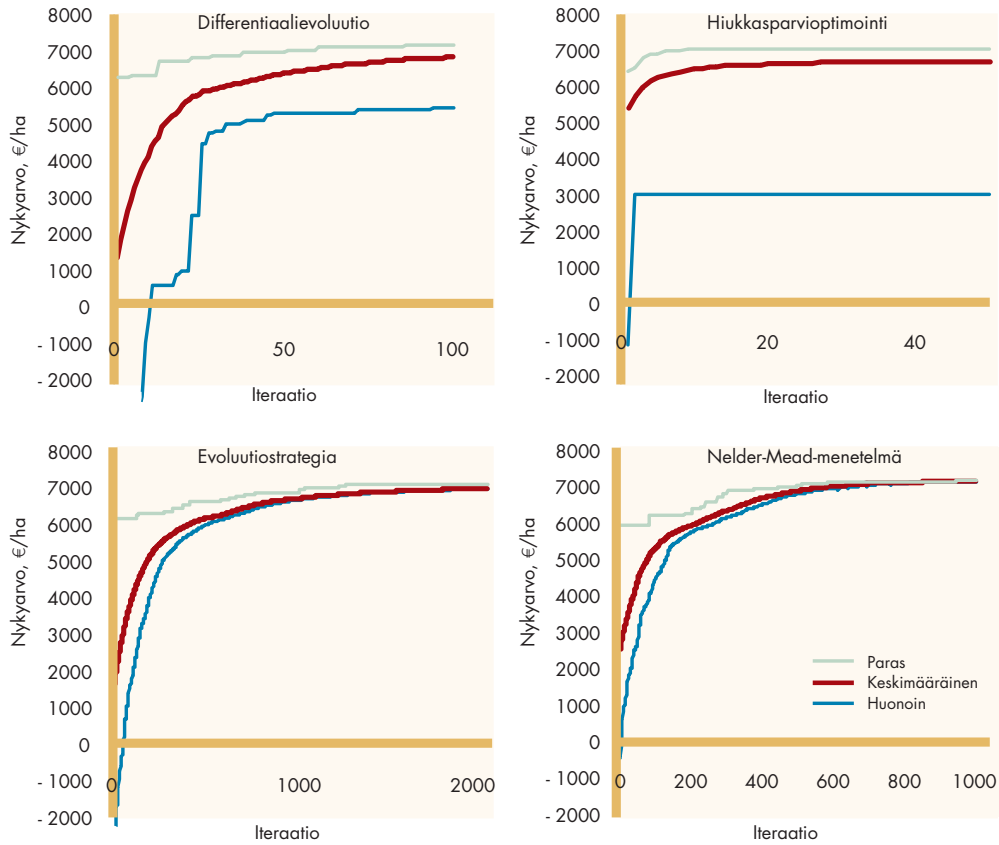
Kuva 1. Puutavaralajeittaiset hakkuukertymät eri optimointimenetelmien löytämissä sekametsikön hakkuuohjelmissa. HJ = Hooke-Jeeves-menetelmä, DE = differentiaalievoluutio, PS = hiukkasparvioptimointi, ES = evoluutiostrategia, NM = Nelder-Mead-menetelmä.

menetelmissä joka iteraatiokierroksella heikoin ratkaisu korvataan eri ratkaisuvektoreita yhdistelemällä saadulla paremmalla ratkaisulla. Differentiaalievoluutiossa ja hiukkasparvioptimoinnissa taas pyritään parantamaan jokaista ratkaisuvektoria joka iteraatiokierroksella (välttämättä onnistumatta). Kaikissa menetelmissä ratkaisupopulaation keskimääräinen nykyarvo ja parhaan ratkaisun nykyarvo paranevat monotonisesti optimoinnin edetessä.

Edellisen yhden metsikön analyysin lisäksi eri menetelmillä optimoitiin 719 metsikön käsittely. Metsiköt ovat yhtenäisen rehevähkön metsäalueen metsiköitä. Niiden joukossa on yhden valtapuulajin metsiköitä, sekametsiköitä, yksi-, kaksi- ja kolmejaksoisia metsiköitä jne. Optimointitulosten vertailu näiden metsiköiden muodostamassa kokonaisuudessa antaa hyvän käsityksen eri menetelmien toimivuudesta metsikön käsittelyn optimoinnissa Suomessa.

Populaatiomenetelmät tuottivat 0,57–1,74 % paremman nykyarvon kuin Hookeen ja Jeevesin menetelmä (Taulukko 1). Yksikään menetelmä ei kuitenkaan tuottanut systemaattisesti muita parempia nykyarvoja. Hookeen ja Jeevesin menetelmä tuotti parhaan nykyarvon 7 %:ssa metsiköitä, Nelder-Mead 3 %, evoluutiostrategia 7 %, hiukkasparvioptimointi 13 % ja differentiaalievoluutio 29 %:ssa metsiköitä. Jos jaetut ykkössijat otetaan huomioon, differentiaalievoluutio oli paras 54 %:ssa metsiköitä ja heikoimmat menetelmät (Nelder-Mead ja Hooke-Jeeves) 24 ja 27 %:ssa metsiköitä. Kaikki viisi menetelmää päätyivät yhden euron tarkkuudella samaan nykyarvoon 18 %:ssa metsiköitä.

Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä, että kaikki tutkitut populaatiomenetelmät toimivat vähintään yhtä hyvin kuin perinteisesti käytetty Hookeen ja Jeevesin menetelmä. Populaatiomenetelmistä



Kuva 2. Nykyarvon kehittyminen optimoinnin aikana populaation huonoimmassa ja parhaassa ratkaisuvektorissa sekä ratkaisupopulaation keskimääräisen nykyarvon kehitys eri menetelmillä.

Taulukko I. Yhteenveto optimointituloksista 719 metsikössä. HJ = Hooken ja Jeevesin menetelmä, DE = differentiaalieuoluutio, PS = hiikkasparvionointi, ES = evoluutiostrategia, NM = Nelder-Mead-menetelmä. NA = nykyarvo.

Muuttuja	HJ	DE	PS	ES	NM
NA keskimäärin €/ha	4 815	4 899	4 881	4 874	4 847
Suhteellinen NA, %	100,00	101,74	101,37	101,22	100,57
Parempi kuin HJ, %	–	64	56	58	43
Huonompi kuin HJ, %	–	11	20	18	34
Paras menetelmä, % ¹	27	54	41	33	24
Paras yksinään, % ²	7	29	13	6	3

¹ Suurin nettotulojen nykyarvo

² Ykkössija (suurin nykyarvo) ei ollut jaettu toisen menetelmän kanssa

paras oli differentiaalievolutio ja heikoin Nelder-Mead. Menetelmien erot olivat kuitenkin pieniä. Kaikki menetelmät toimivat hyvin melkein kaikissa metsiköissä. Tämän vuoksi kaikkia viittä menetelmää voidaan luottavaisin mielin käyttää metsikön käsittelyohjelman optimointiin. Koska sama menetelmä ei ole paras joka metsikössä, ja jokainen menetelmä on joskus paras, huolellisessa optimoinnissa kannattaa käyttää useampaa menetelmää ja valita optimiratkaisuksi parhaiten toimineen menetelmän tuottama.

■ Prof. Timo Pukkala, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti timo.pukkala@uef.fi

Tuula Nuutinen, Antti Kilpeläinen,
Hannu Hirvelä, Kari Härkönen,
Veli-Pekka Ikonen, Reetta Lempinen,
Heli Peltola, Lars Wilhelmsson ja
Seppo Kellomäki

Puu- ja kuituvarat tulevaisuudessa – esimerkkinä Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alue

Seloste artikkelista: Nuutinen, T., Kilpeläinen, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Ikonen, V.-P., Lempinen, R., Peltola, H., Wilhelmsson, L. & Kellomäki, S. 2009. Future wood and fibre sources – case North Karelia in eastern Finland. *Silva Fennica* 43(3): 489–505.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf433489.pdf>

Metsäteollisuuden investointien ja puunhankinnan suunnittelussa tarvitaan tietoa nykyisistä ja tulevista puu- ja kuituvaroista. Tässä tutkimuksessa tehtiin puu- ja kuituvaroja sekä niiden tulevaisuutta koskeva vaikutusanalyysi Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueelle vuosiksi 2006–2010 laaditun metsäohjelman perusteella.

Vaikutusanalyysi perustui MELA-järjestelmällä tehtyihin laskelmiin, joissa käytettiin valtakunnan

metsien 9. inventoinnin (maastotyöt Pohjois-Karjalassa vuonna 2000) koeala- ja puuaineistoja. Vaikutusanalyysijä varten MELA-järjestelmään liitettiin männylle ja kuuselle kehitetyt mallit, jotka ennustavat puuaineen tiheyden, kesäpuun osuuden ja kuidun pituuden. Alunperin ruotsalaisella aineistolla laaditut mallit kalibroitiin vastaamaan Suomen olosuhteita ja mittauskäytäntöjä. Tutkimuksessa tarkasteltiin sekä hakattavien että hakkuun jälkeen metsään kasvatettavaksi jäävien puiden ominaisuuksien kehitymistä lähivuosisikymmenien (50 vuotta) aikana. Puiden ominaisuuksia 1,3 metrin korkeudella tarkasteltiin ikäluokittain, kasvupaikkatyypeittäin ja hakkuutavoittain.

Saman ikäluokan, kasvupaikkatyyppin ja hakkuutavan sisällä keskimääräisessä puuaineen tiheydessä, kesäpuun osuudessa ja kuidun pituudessa ei havaittu suuria muutoksia lähivuosisikymmenten kuluessa. Sen sijaan eri ikäluokkien, kasvupaikkatyyppien ja hakkuutapojen välillä näissä ominaisuuksissa oli huomattavia eroja. Yleisesti tarkasteltuna puuaineen tiheys, kesäpuun osuus ja kuidun pituus olivat keskimäärin sitä suurempia, mitä vanhempia puut olivat tai mitä karummalla kasvupaikkatyyppillä puut kasvoivat. Poikkeuksena edellisestä oli kuitenkin se, että hakattavilla kuusilla puuaineen keskimääräinen tiheys ja kesäpuun osuus vähenivät puun iän kasvaessa, kun taas sekä kasvatettavilla että hakattavilla männyllä ja kuusilla kasvupaikkatyyppi ei vaikuttanut keskimääräiseen kuidun pituuteen. Hakattavien alle 80-vuotiaiden puiden puuaineen tiheys, kesäpuun osuus ja kuidun pituus olivat vähintään yhtä suuria kuin vastaavan ikäisillä hakkuussa edelleen kasvatettavaksi jätettävillä puilla. Avohakattavilla kohteilla näiden ominaisuuksien arvot olivat yleensä suuremmat kuin harvennuskohteilla – lukuun ottamatta kuusen tiheyttä ja kesäpuun osuutta.

Tämän tutkimuksen tulokset koskevat vain Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen aluetta ja sille laaditun metsäohjelman mukaista kehitystä. Alueen keskimääräisiä puun ominaisuuksia koskevat tulokset vastaavat kuitenkin hyvin aiempia tutkimuksia, joita on tehty lähinnä esimerkki- tai tyyppimetsiköille. Ikäluokittain, kasvupaikkatyypeittäin ja hakkuutavoittain tuloksissa näkyvät kuitenkin myös Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueen uudistamiskohteilla ja kasvatushakkuissa edeltävinä vuosikymmeninä tehtyjen kasvatettavien ja poistettavien puita koskevien

valintojen vaikutukset. Vastaavasti tulevien vuosikymmenten tuloksiin vaikuttaa tarkasteluskenaarion mukainen metsien käsittely. Tulokset eivät siis ole sellaisenaan yleistettävissä muille alueille tai muihin ennusteisiin.

■ Ph.D. Tuula Nuutinen, European Forest Institute; MMT Antti Kilpeläinen, MMT Veli-Pekka Ikonen, MMT Heli Pelto ja prof. Seppo Kellomäki, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; MMM Hannu Hirvelä ja MMM Kari Härkönen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö; FM Reetta Lempinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö; Dr. Lars Wilhelmsson, Skogforsk, Uppsala Science Park. Sähköposti tuula.nuutinen@efi.int

Matti Maltamo, Jussi Peuhkurinen,
Jukka Malinen, Jari Vauhkonen, Petteri
Packalén ja Timo Tokola

Männyn puu- ja laatutunnusten ennustaminen laserkeilauksella

Seloste artikkelista: Maltamo, M., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Vauhkonen, J., Packalén, P. and Tokola, T. 2009. Predicting tree attributes and quality characteristics of Scots pine using airborne laser scanning data. *Silva Fennica* 43(3): 507–521. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf433507.pdf>

Laserkeilausaineistoa on viime vuosina hyödynnetty runsaasti erilaisissa metsäinventointisovelluksissa. Tällöin kiinnostuksen kohteena on yleensä ollut puuston määrä, kun taas puuston laatutunnuksia ei yleensä ole käsitelty lainkaan. Laserkeilausaineistosta voidaan tehdä puustotulkinta joko yksinpuin tai koealatasolla. Tässä tutkimuksessa nämä lähestymistavat yhdistettiin laskemalla lasertunnuksia niin puu- kuin koealatasollakin. Vastaavasti tarkasteltiin niin puuston määrää kuin laatuakin kuvaavia tunnuksia.

Tutkimusaineisto on peräisin Kolin kansallispuistosta Pohjois-Karjalasta ja sisälsi pulssitiheydeltään noin 4 pulssia neliömetrillä olevan laserkeilausai-

neiston sekä 14 tarkasti paikannettua ja mitattua mäntyvaltaista maastokoealaa. Kaikista maastokoealojen puista mitattiin läpimitta, pituus, latvusraja ja kuolleiden oksien alaraja sekä tukkiosuutta vähentävät puun viat. Laserkeilausaineistosta lasketusta latvusmallista tunnistettiin yksittäiset puut paikallisten maksimien avulla ja määritettiin latvusala vedenvalunta-algoritmeilla. Lopullisen tutkimusaineiston muodostivat tukkipuukokoiset männyt, joita laserkeilausaineistosta tunnistettiin ja tiedot yhdistettiin vastaaviin maastossa mitattuihin puihin yhteensä 133 kappaletta.

Tutkimusaineiston puille laskettiin laserkeilausaineiston perusteella arvio puun pituudesta sekä latvuksen kokoa kuvaavia tunnuksia. Lisäksi määritettiin kolmiulotteisten tekstuuritunnusten avulla arvio puun latvusrajalle. Puun latvuksen alalta määritettiin laserpisteparvesta erilaisia korkeus- ja tiheysjakaumatunnuksia. Samat tunnuksot laskettiin myös koealatasolle. Lopuksi laserkeilausaineistosta tunnistettujen puiden sijaintien ja pituuksien perusteella laskettiin spatiaalisia kilpailuindeksejä kuvaamaan puun kilpailuasemaa metsikössä.

Edellä mainittuja laserkeilausaineistosta laskettuja tunnuksia käytettiin selittäjinä malleissa, joilla ennustettiin puun läpimitta, pituus, tilavuus, latvusraja, kuolleiden oksien alaraja sekä tukkiosuus. Nämä puutunnuksot ennustettiin sekä ei-parametrisella k:n lähimmän naapurin menetelmällä että sekamallitekniikkaan perustuvilla regressiomalleilla.

Tutkimuksen tulosten perusteella k:n lähimmän naapurin menetelmällä saatiin tarkempia arvioita puutunnuksista kuin regressiomalleilla. Kaiken kaikkiaan ennustettujen tunnusten tarkkuus oli varsin hyvä ja oli yleensä alle 10 % suhteellisen keskineliövirheen neliöjuurella (RMSE) tarkasteltuna. Esimerkiksi puun läpimitta saatiin ennustettua reilun 1 cm:n RMSE:llä, mitä voidaan pitää erittäin lupaavana tarkkuutena laserkeilausaineiston yksinpuintulkintaan perustuvia metsäinventointisovelluksia ajatellen. Myös oksarajatunnusten sekä niistä edelleen lasketun kuolleiden oksien vyöhykkeen ennusteet olivat realistisia antaen mahdollisuuksia selvittää puuston laatutunnuksia laserkeilausaineiston avulla esimerkiksi leimikon ennakkomittaussovellusten yhteydessä.

Kaiken kaikkiaan laserkeilausaineistolla saavutettu puutunnusten ennustamisen tarkkuus oli hyvä.

Täytyy kuitenkin muistaa, että tutkimusaineisto oli hyvin pieni eikä tulosten vahvistamiseksi ollut erillistä riippumatonta aineistoa. Lisäksi yksinpuintulkintaan perustuvissa laserkeilaussovelluksissa ennustettujen puustotunnusten tarkkuutta vähentävät myös puiden ja puulajien tunnistamisesta aiheutuvat virheet, joita ei tässä tutkimuksessa käsitelty.

■ Professori Matti Maltamo, tutkija Jussi Peuhkurinen, tutkija Jari Vauhkonen, yliassistentti Petteri Packalén ja professori Timo Tokola, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta; varttunut tutkija Jukka Malinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö.
Sähköposti matti.maltamo@uef.fi

Katri Luostarinen ja Veikko Möttönen

Kaatoajankohdan, varastoinnin ja kuivauksen vaikutus luonnon- ja istutusalkuperää olevien rauduskoivujen puuaineen väriin

Seloste artikkelista: Luostarinen, K. & Möttönen, V. 2009. Effect of felling season, storage and drying on colour of silver birch (*Betula pendula*) wood from four different growing sites. *Silva Fennica* 43(4): 699–709.
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf434699.pdf>

Suomessa käytetään runsaasti koivupuuta puusepänteollisuuden tuotteissa, joissa puun oma väri jää näkyviin. Viime vuosikymmenten aikana luontaisesti syntyneiden hyvälaatuisten koivikoiden määrä on vähentynyt. Koivupuun kysynnän uskotaan 1960-luvulla kasvavan tulevaisuudessa, minkä vuoksi koivupuun saatavuus on yritetty turvata istutuksin. Lähitulevaisuudessa koivupuuta tuleekin teollisuuden käyttöön sekä luonnon- että istutetuista metsistä, joiden kasvupaikat voivat esim. ravinteikkuuden perusteella erota toisistaan huomattavasti aiheuttaen eroja puuaineen ominaisuuksiin. Siten tarvitaan tietoa eri alkuperää olevien koivujen puuaineen ominaisuuksien eroista ja siitä, voidaanko ne

käsitellä samoissa erissä etenkin kuivattaessa, sillä kuivumisen aikana tapahtuvaa koivupuun värin tummumista pidetään merkittävänä laatua alentavana seikkana. Tämän tutkimuksen tavoitteena onkin verrata kaatoajankohdan, varastoinnin ja kuivauksen vaikutusta luonnon- ja istutusalkuperää olevien rauduskoivujen puuaineen väriin.

Tutkimuksessa käytettiin neljältä eri kasvupaikalta kaadettujen rauduskoivujen puuta. Kasvupaikat olivat vähäravinteinen puolukkatyyppi (VT), jolla koivujen keskimääräinen ikä oli 77 vuotta, keskiravinteinen mustikkatyyppi (MT), jossa keskimääräinen ikä oli 62 vuotta, sekä 33 vuotta aikaisemmin istutetut runsasravinteiset oravanmarja-mustikkatyyppi (OMT) ja entinen pelto. Puita kaadettiin syksyllä, talvella ja kesällä. Puolet tukeista sahattiin laudoiksi (30 x 70 mm²) ja kuivattiin heti, puolet tukeista varastoitiin 10 (luontaiset alkuperät) tai 8 (istutetut koivut) viikoksi ennen sahausta ja kuivausta. Kaikki kuivauserät kuivattiin samalla lämminilmakuivauskaavalla laboratorioskokoisessa puutavarakuivaamossa. Laudoista mitattiin heijastusspektrit ennen kuivausta ja sen jälkeen, ja spektreistä määritettiin L*a*b*-värikoordinaatit sekä väriero, ΔE^*_{ab} , eri alkuperien ja varastointien välille.

Tuore puu oli sitä vaaleampaa, mitä rehevämältä kasvupaikalta se oli peräisin. Lisäksi se oli hieman vaaleampaa kesällä kuin syksyllä ja talvella. Myös kuivatun koivupuun väri oli sitä vaaleampi, mitä rehevämältä kasvupaikalta puuaine oli peräisin. Osittain voi syynä olla se, että hyvä kasvunopeus lisää nimenomaan vaalean kevätpuun määrää ohuiden tummien kesäpuuvyöhykkeiden merkityksen siten pienentyessä. Tosin myös iältään nuoren puuaineen on todettu olevan vaaleampaa kuin vanhan, joten tukkipuukoon saavuttaminen mahdollisimman nuorella iällä voi olla etu, kun halutaan vaaleaa koivupuuta. Tavallisesti kesällä kaadettu puuaine tummui kuivauksessa eniten, mutta poikkeuksellisesti pellolla kasvanut koivupuun tummui eniten, kun se oli kaadettu talvella. Talvella kaadettu puu säilyi VT:n ja MT:n tapauksessa kuivauksessa vaaleimpana, OMT:n ja pellon kyseessä ollessa kaato syksyllä säilytti puun vaaleimpana.

Tukkien varastoinnin merkitys värille oli pienempi kuin kaatoajan. Kuitenkin OMT:llä ja pellolla kasvanut puuaine jopa vaaleni tukkien varastoinnin aikana, tosin ne tummuivat kuivauksessa enemmän kuin

varastoimaton puuaine. Tukkien varastointi vaikutti kuivauksessa vaalentavasti vain VT:n puuaineeseen, joskin se siitä huolimatta oli tummintaa kuivauksen jälkeen. Varastointi on voinut muuttaa uuteaineita hydrofobisista hydrofiiliseksi, jolloin ne helpommin kulkeutuvat veden mukana saheidet pintaan.

Suurimmat mitatut värierot (ΔE^*_{ab}) sekä kasvu- paikkojen että varastointien välillä olivat 3–4:n yksikön luokkaa. Kaikissa tapauksissa VT:n puuaine oli selvästi tummintaa ja istutuskoivukoiden puuaine vaaleinta. Kokemuksemme mukaan $\Delta E^*_{ab}=1,8$:n suuruinen väriero on havaittavissa paljain silmin koivupuulla, ja $\Delta E^*_{ab}>3$ värierot ovat jo selviä ja monissa tuotteissa haitallisia. Siten tämän tutkimuksen perusteella puuaineen värin tummumisen suhteen ongelmallisimpia ovat hyvin karuilta kasvu- paikoilta kaadetut puut, kun taas rehevillä paikoilla kasvaneiden istutuskoivujen puuaineen väri säilyy kuivauksessa varsin hyvänä.

■ FT Katri Luostarinen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; MMT Veikko Möttönen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta. Sähköposti katri.luostarinen@uef.fi

v ä i t ö s s e l o s t e i t a

Anneli Viherä-Aarnio

Siemenalkuperän leveysasteen vaikutus rauduskoivun pituuskasvun päättymiseen ja menestymiseen maastossa

Seloste väitöskirjasta: Viherä-Aarnio, A. 2009. Effects of seed origin latitude on the timing of height growth cessation and field performance of silver birch. Dissertationes Forestales 87. <http://www.metla.fi/dissertationes/df87.htm>

Puiden oikea-aikainen talveentuminen on tärkeä edellytys niiden menestymiselle pohjoisessa ilmastossamme, jossa lämmintä kesää seuraa kylmä talvi. Talveentumiskehityksen ensimmäinen näkyvä vaihe on pituuskasvun päättymisen, jonka paneelille loppukesällä valojakson (fotoperiodin) muutos, yön piteneminen. Fotoperiodinen säätely on erityisen tärkeä nuorilla koivuilla, jotka voivat kasvaa jatkuvassa valossa loputtomasti, mutta lopettavat kasvunsa pitkässä yössä. Kehityksen laukaisevalle ns. kriittisellä yönpituudella tarkoitetaan yleensä lyhintä yötä, joka aiheuttaa pituuskasvun päättymisen, tai saa aikaan silmunmuodostuksen 50 % tarkasteltavista taimista. Eri leveysasteilta kotoisin olevilla koivualkuperillä on erilainen kriittinen yönpituus, pohjoisilla alkuperillä lyhyempi kuin eteläisillä. Alkuperien siirto leveysasteelta toiselle merkitsee siirtoa erilaisiin valojakso-oloihin ja vaikuttaa niiden pituuskasvun päättymisen ajoittumiseen, sekä edelleen menestymiseen, kasvuun ja tuotukseen. Siemensiirtosääntöjen laadinnassa, metsänjalostus- ja metsänviljelyaineiston valinnassa sekä taimikasvatuksessa tarvitaan tietoa eri alkuperien pituuskasvun päättymisen ajoittumisesta ja menestymisestä maastossa. Hirvi on koivuntaimikoissa merkittävä tuhonaiheuttaja, mutta siemenalkuperän tai siemenen siirron vaikutuksesta rauduskoivun hirvituhoalittiuteen on kuitenkin hyvin vähän tietoa. Tässä väitöskirjatyössä tutkittiin siemenalkuperän leveysasteen vaikutusta rauduskoivun pituuskasvun pääty-

misen ajoittumiseen sekä menestymiseen maastossa, kiinnittäen erityistä huomiota nuorten rauduskoivujen hirvituhoihin.

Siemenalkuperän leveysasteen ja kylvöajankohdan vaikutusta pituuskasvun päättymisen ajoittumiseen tutkittiin kylvövuoden taimilla kasvihuonekokeessa Lopella (60°37'N) kasvukauden aikana luonnollisesti vaihtelevassa valojaksossa. Kokeeseen sisältyi seitsemän alkuperää leveysasteilta 58°–67°N. Eteläisin alkuperä oli kotoisin Viljandista, Etelä-Virosta ja pohjoisin Kittilästä, Pohjois-Suomesta. Kaikki alkuperät kylvettiin kesän aikana kahdeksan kertaa 1–2 viikon välein toukokuun lopulta heinäkuun lopulle. Taimista havainnoitiin pituuskasvun päättymisajankohta kahdesti viikossa toistuvilla pituusmittauksilla. Pituuskasvun päättymisajankohta vaihteli systemaattisesti alkuperän leveysasteen ja kylvöajankohdan mukaan. Mitä pohjoisemmasta alkuperästä oli kyse, sitä aiemmin ja lyhyemmässä yössä taimet päättivät kasvunsa ja sitä lyhyemmäksi jäi niiden kasvujakso. Muutos etelästä pohjoiseen oli vähittäinen, kliinainen. Varhaisimmassa kylvöerässä Kittilän taimet lopettivat kasvunsa elokuun 20. päivänä ja Viljandin alkuperän taimet kuukaudesta myöhemmin, syyskuun 19. päivänä. Kylvöajankohdan myöhentäminen myöhensi taimien kasvun päättymistä kaikilla alkuperillä, mutta samalla niiden kasvujakso lyheni. Alkuperän ja kylvöajan välillä havaittiin myös yhdysvaikutus, toisin sanoen pohjoisilla alkuperillä kylvön myöhentäminen viivästytti kasvun päättymistä enemmän kuin eteläisillä. Taimet kasvoivat sitä kookkaammiksi, mitä eteläisemmästä alkuperästä ja varhaisemmasta kylvöajasta oli kyse. Eri alkuperille ei voitu määrittää yksiselitteisesti mitään tiettyä kasvun päättymisaikaa, vaan se vaihteli kylvöajan mukaan. Kylvövuoden taimien herkkyys valojaksolle siis muuttuu niiden koon tai kehitysvaiheen myötä.

Rauduskoivun kahden fotoperiodiekotyypin, ts. eteläisen (Tuusula, 60°N) ja pohjoisen (Kittilä, 67°N) metsikön silmunmuodostuksen kriittistä yön pituutta ja sen vaihtelua ekotyypin sisällä, puiden välillä tutkittiin kolmessa fyto-troni- eli kasvatuskammio-kokeessa. Kummastakin metsiköstä kokeisiin sisältyi 21 emopuun vapaapölytyssiemenestä kasvatetut taimijälkeläistöt, joihin kohdistettiin erimittaisia yön pituuskäsittelyjä. Käsittelyjen jälkeen laskettiin silmun muodostaneiden taimien osuudet.

Regressioanalyysillä määritettiin koekohtaisesti kullekin emopuulle 50 % silmunmuodostuksen aiheuttava kriittinen yön pituus, jossa esiintyy metsiköiden välistä ja sisäistä vaihtelua testattiin tilastollisesti. Silmunmuodostuksen kriittinen yön pituus oli eteläisellä ekotyypillä pidempi, $6,3 \pm 0,2$ h (95 % luottamusväli), kuin pohjoisella ekotyypillä $3,1 \pm 0,3$ h. Silmunmuodostuksen aiheuttavan keskimääräisen kriittisen yön pituuden signaalien puut saivat luonnollisilla kasvupaikoillaan Tuusulassa heinäkuun 23. päivänä ja Kittilässä 25. päivänä. Koivumetsikön sisäinen vaihtelu silmunmuodostuksen kriittisessä yön pituudessa oli pohjoisella ekotyypillä suurempi (varianssi = $0,484 \text{ h}^2$) kuin eteläisellä ($0,150 \text{ h}^2$).

Siemenalkuperän leveysasteen vaikutusta hirvituhojen määrään tutkittiin metsämaastoon perustetussa kenttäkokeessa. Aineisto tähän työhön saatiin Etelä-Suomessa, Lopella kasvavasta provenienssikokeesta, johon hirvet olivat päässeet hirviäidan rikoonnuttua toistuvasti ruokailemaan taimien ollessa 5–11 vuoden ikäisiä ja tuhoille alttiissa koossa. Tutkimukseen sisältyi kaikkiaan 29 alkuperää leveysasteiden 53–67°N väliseltä alueelta. Hirvenkoskemien puiden keskimääräinen osuus vaihteli alkuperittäin 6–86 %. Se oli korkein alkuperillä, jotka olivat kotoisin Suomea eteläisemmiltä leveysasteilta ja matalin koepaikkaan nähden pari leveysastetta pohjoisemmilla alkuperillä. Hirvenkoskemien puiden osuus laski tilastollisesti merkitsevästi alkuperän leveysasteen ja taimien keskipituuden kasvaessa, keskimäärin 7,3 prosenttiyksikköä alkuperän leveysastetta (n. 110 km) kohden. Mitä eteläisemmästä alkuperästä oli kyse, sitä enemmän hirvet myös söivät oksia koskemistaan puista. Tulokset osoittavat selvästi hirvien suosivan eteläisiä alkuperiä, mikä saattaa selittyä sillä, että eteläiset alkuperät jatkavat kasvuaan ja pysyvät lehdessä pohjoisia alkuperiä myöhempään syksyllä. Aiempien tutkimusten mukaan koivu on hirvelle haluttu ravintokasvi nimenomaan kesällä lehdessä ollessaan, mutta versojen puutuessa ja lehtien varistessa sen maistuvuus ja sulavuus hirvelle heikkenee jyrkästi.

Kaupallisen ainespuun koon saavuttaneiden 22-vuotiaiden rauduskoivualkuperien eroja ja etelä-pohjoisuuntaisten siemensierrojen vaikutusta kasvuun ja rungon laatuun tutkittiin kahdessa metsämaastoon perustetussa provenienssikokeessa Tuusulassa (60°N) ja Viitasaarella (63°N). Kokeet sisäl-

sivät metsikkösiemenalkuperiä Latviasta, Virosta, Venäjältä ja Etelä- ja Keski-Suomesta sekä yksittäisten, valittujen kantapuiden vapaapölytys- ja risteytysiemeneriä Etelä- ja Keski-Suomesta ja Liettuasta leveysasteiden 54° ja 63°N väliseltä alueelta. Aineisto analysoitiin lineaarisella sekamallilla, jolla tutkittiin siemenalkuperän leveysasteen sekä leveysasteissa mitatun siemenen siirtoetäisyyden vaikutusta koivujen elävyyteen, tuotokseen ja runkoviallisten puiden osuuteen. Runkovialliseksi luokiteltiin puut, joilla oli pääangan vahingoittumisesta johtuva poikaoksa tai haaroittunut runko. Etelästä pohjoiseen tai pohjoisesta etelään tehdyn siemensiirron pituus vaikutti tilastollisesti merkitsevästi alkuperien elävyyteen, tuotokseen ja runkoviallisten puiden osuuteen. Elävyyden ja tuotoksen suhde siirtoetäisyyteen oli käyräviivainen. Tuotos lisääntyi siirtämällä siementä etelästä pohjoiseen enintään noin kahden leveysasteen verran. Pidempi siirto etelästä pohjoiseen, samoin kuin siirto pohjoisesta etelään heikensi elävyyttä ja tuotosta. Runkoviallisten puiden osuus kasvoi suoraviivaisesti samalla kun siemenen siirtoetäisyys etelästä kasvoi. Joidenkin Virosta ja Pohjois-Latviasta peräisin olevien metsikköalkuperien tuotos oli eteläisimmässä Suomessa, Tuusulassa, huomattavan korkea, mutta keskimääräinen mallin ennustama siemensiirrolla saavutettava tuotoksen lisäys jäi kuitenkin melko vähäiseksi, ja siihenkin liittyi heikompi rungon laatu. Keski-Suomessa balttilaiset alkuperät menestyivät heikosti. Eteläsuomalaisten valittujen kantapuiden tuotos oli Tuusulassa samaa tasoa ja Viitasaarella huomattavasti parempi kuin balttilaisten metsikköalkuperien.

Väitöskirjatyössä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää rauduskoivun taimien taimitarhakasvatuksessa, etsittäessä keinoja hirvituhojen vähentämiseen koivuviljelyksillä sekä valittaessa rauduskoivualkuperiä metsänviljelyyn ja metsänjalostuksen aineistoksi.

■ MMT Anneli Viherä-Aarnio, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö.
Sähköposti anneli.vihera-aarnio@metla.fi

