

Tuomo Kalliokoski, Pekka Nygren ja
Risto Sievänen

Männyn, kuusen ja koivun paksu- juurten arkkitehtuuri sekametsä- oloissa

Seloste artikkelista: Kalliokoski, T., Nygren, P. & Sievänen, R. 2008. Coarse root architecture of three boreal tree species growing in mixed stands. *Silva Fennica* 42(2): 189–210.

Juurten rakennetta ja arkkitehtuuria kuvaavia tutkimuksia on tehty suhteellisen vähän vaikka juuriston arkkitehtuurin merkitys puun kasvulle on tiedetty jo pitkään. Juuriston arkkitehtuurilla tarkoitetaan yleensä puutuneitten juurten kokoa ja tarkkaa sijaintia maaperässä. Arkkitehtuuri kuvataan useiden muuttujien kuten haarautumisintensiteetin, juurten haarojen pituuden, haarautumiskulmien sekä topologian avulla.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kuvata männyn (*Pinus sylvestris* L.), kuusen (*Picea abies* (L.) H. Karst.) ja rauduskoivun (*Betula pendula* Roth) paksujuurten arkkitehtuuria sekametsäoloissa. Tutkimusaineisto kerättiin Helsingin yliopiston Hyytiälän metsäaseman läheisyydestä viideltä koealalta. Koealat muodostivat kehitysluokkajakumon MT-metsiköissä (taimikko – nuori kasvatusmetsä – vartunut kasvatusmetsä) ja kasvupaikkajakumon nuorissa kasvatusmetsissä (VT – MT – OMT). Kultakin koealalta valittiin 4 kunkin puulajin elinvoimaista yksilöä pääasiassa metsikön valtapuista. Koepuista paljastettiin ja mitattiin kaikki juurenniskassa kiinni olleet juuret niiden ensimmäiseen haarautumiseen asti (lähijuuristo). Lisäksi valittiin 1–3 näytejuurta kustakin puusta. Näytejuuren kaikkia haaroja seurattiin 2 mm:n minimiläpimitaan asti. Lisäksi määritettiin mahdolliset adventiivijuuret sekä puuyksilöiden väliset juurten yhteenkasvettumat.

Puulajien tyypilliset juuristot poikkesivat toisistaan. Kun männyn paalujuurta ei otettu huomioon, oli koivulla syvin lähijuuristo, kun taas kuusen juuristo oli pinnanmyötäisin. Kuusella oli yleensä vähiten lähijuuria ja ne olivat keskimäärin hieman isompia läpimitaltaan kuin männyllä ja koivulla, kun taas koivulla oli suuri määrä läpimitaltaan pienempiä lähijuuria. Kun lähijuurten yhteenlaskettu poikkileikkauspinta-ala suhteutettiin kannon läpimitaan, eivät puulajit poikenneet tilastollisesti toisistaan millään koealalla. Alle puolella (47 %) tutkituista männyistä oli paalujuuri. Kasvupaikat eivät eronneet tässä suhteessa toisistaan.

Koko juuristoa tarkasteltiin näytejuurista mitattujen muuttujien valossa. Kaikki koealat huomioiden koivun juuriston horisontaalinen säde oli keskimäärin suurin (6,2 m) ja männyn pienin (4,2 m). Kuusella valtaosa juurista sijaitsi humus- ja mineraalimaan ylimmässä kerroksessa, kun taas männyn juuret sijaitsivat huuhtoutumis- ja koivun juuret rikkastumiskerroksessa. Männyn juurten puuainekeskiarvo: kuivatuoretiheyden keskiarvo kaikki koealat huomioiden oli $0,321 \text{ g cm}^{-3}$. Koivun ($0,412 \text{ g cm}^{-3}$) ja kuusen ($0,411 \text{ g cm}^{-3}$) kuivatuoretiheydet eivät poikenneet toisistaan. Puuaineen tiheys laski männyssä ja koivussa kannosta kohti juuren kärkeä, kun taas kuusessa suunta oli päinvastainen. Juuriston kokoa kuvattiin myös kokonaismuuttujilla, joissa laskettiin yksittäisessä juuressa olleiden juurisegmenttien määrä, juuren kokonaispituus sekä -massa. Koska näytejuurten läpimitat vaihtelivat, vakioitiin kokonaismuuttujat jakamalla ne juuren alkuläpimitällä. Näin laskien männyllä oli vähiten segmenttejä ja sen juurten kokonaispituus sekä -massa olivat pienimpiä, kun taas koivussa havaittiin kokonaismuuttujien suurimmat arvot.

Kehitysvaiheiden eroja tarkasteltaessa kaikilla puulajeilla kannon läpimitan kasvu vastasi lähijuurten läpimitan kasvua. Juuriston keskimääräinen säde kasvoi kaikilla puulajeilla taimikosta varttuneeseen metsikköön siirryttäessä. Varttuneen metsikön juu-

riston säde oli männyllä (6,0 m) ja kuusella (8,7 m) yli kaksi kertaa niin suuri kuin taimikossa ja koivussa (11,6 m) ero oli yli kolminkertainen. Myös juuriston keskimääräinen syvyys kasvoi kaikilla puulajeilla taimikosta varttuneeseen metsikköön. Kokonaisu- muuttujien osalta vain männyssä havaittiin eroa kehitysvaiheiden välillä, kokonaisu- massan ollessa merkitsevästi suurempi varttuneilla puilla.

Kasvupaikkojen välillä ei havaittu merkitsevää eroa juuriston keskimääräisessä laajuudessa, vaikka- kin jokaisella puulajilla juuriston säteen suurin arvo havaittiin VT:llä. Juuriston syvyys vaihteli eri puu- lajeilla kasvupaikkojen välillä eri tavoin. Kuusen ja koivun juuriston keskisyvyys oli suurin VT:llä, kun taas männyllä juuristo oli VT:llä lähimpänä pintaa. Kokonaisu- muuttujissa ei männyllä havaittu kasvu- paikkojen välillä merkitseviä eroja. Koivulla kaik- kien kokonaisu- muuttujien suurimmat arvot havait- tiin VT:llä, mutta tilastollisesti kasvupaikat erosivat toisistaan vain kokonaispituuden suhteen. Kuusella juuriston kokonaispituus oli pienin OMT:llä ja ko- konaisu- massassa suurin VT:llä.

Mitattujen muuttujien vaihtelu oli erittäin suurta saman lajin puuyksilöiden ja jopa saman puun eri juurten välillä. Tämän seurauksena erojen vahvista- minen tilastollisin menetelmin puulajien ja kasvu- paikkojen välillä oli vaikeaa. Havaintojen perusteel- la oli kuitenkin mahdollista määrittää lajikohtaisia piirteitä juuriston kasvustrategiassa.

Juurten päätehtävinä on tukea puuta sekä ottaa vettä ja ravinteita. Puulajit näyttivät ratkaiseen nä- mä tehtävät eri tavoin. Koivulla tukea antavia lähi- juuria oli kaikilla koealoilla eniten, kun taas kuusen lähijuuri- ssa sekundäärinen kasvu oli voimakkain- ta, mikä muodosti tukijuuriin lankkumaisen raken- teen. Vajaalla puolella männyistä oli paalujuuri tu- kea tuomassa.

Juuriston laajuus heijastaa veden ja ravinteiden ottoa. Koivun päivittäin käyttämä vesimäärä on suurempi kuin kuusen ja varsinkin männy- n. Tämä heijastui juuriston mittasuhteisiin, sillä koivulla oli laajin juuristo sekä horisontaalisessa että vertikaali- ssa suunnassa. Puulajien erilaiset kasvustrategiat näkyivät myös juuriston kokonaisu- muuttujissa. Män- ty ei sopeuttanut juuristoaan näiden muuttujien va- lossa lähes lainkaan kasvupaikan vaihtuessa. Tämä heijastaa männy- n tehokasta saatujen kasvuresur- sien käyttöä. Koivu sen sijaan sopeutti sekä juurten

haarautumisintensiteettiä että kokonaispituutta kas- vupaikan muuttuessa, pyrkien näin maksimoimaan kasvuresurssien saannin.

Mielenkiintoinen havainto oli myös juuriston vai- kutusalueen näkökulmasta, ettei männyllä ja kuu- sella havaittu lainkaan puuyksilöiden välisiä juur- ten yhteenkasvettumia ja koivullakin vain yksi. Juu- renniskassa olleita lähijuuria paljastettiin kaikkiaan 929 kpl ja valituissa 94 näytejuuressa juurisegment- tejä paljastettiin n. 5 500. Tämän aineiston valossa yhteenkasvettumat näyttäsivät olevan harvinaisem- pia ainakin sekametsissä kuin Yli- Vakkurin (1954) männyllä tekemä havainto, jossa iältään yli 40 v. metsiköissä yli 20 % puista löydettiin yhteenkas- vettumia. Yhteenkasvettumien oletetaan olevan juu- rikävän siirtymisreitti sairastuneista puista tervei- siin puihin.

Tämän tutkimuksen tulokset antavat ekologista perustietämystä puiden juuristojen ominaisuuksis- ta, jota voidaan hyödyntää käytännön metsänhoitoa suunniteltaessa. Lisäksi yksityiskohtaiset mittaukset mahdollistavat juurten rakenteen ja arkkitehtuurin tarkan mallinnuksen.

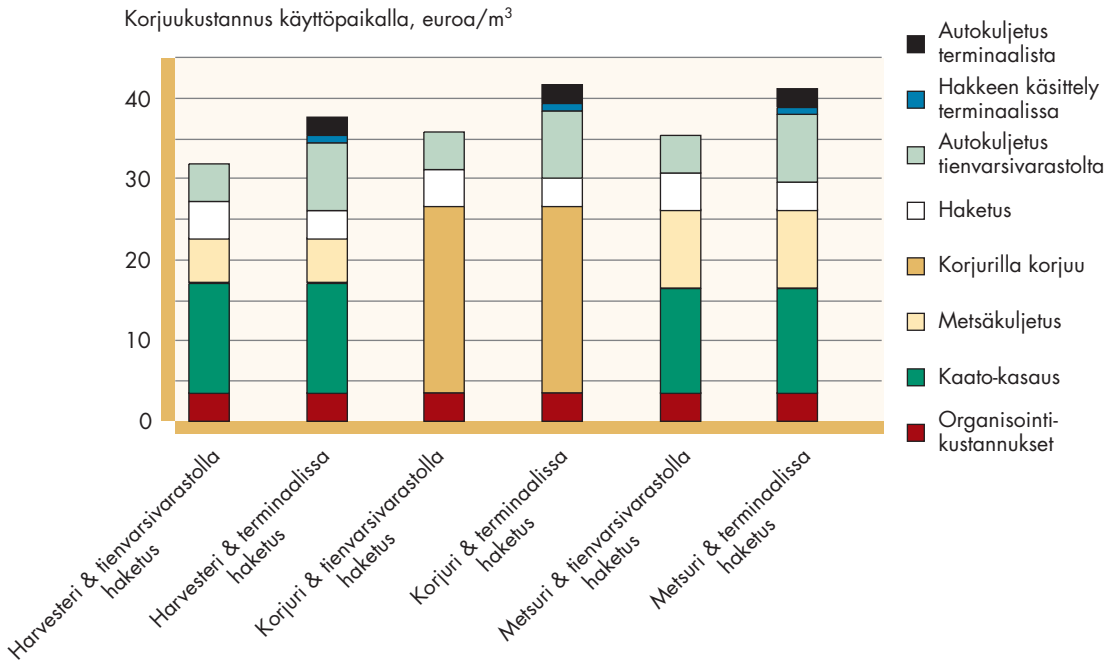
■ MMM Tuomo Kalliokoski, TkT Risto Sievänen, Metsäntu- kimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö; MMT Pekka Nygren, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos
Sähköposti tuomo.kalliokoski@metla.fi

Juha Laitila

Kokopuu- hakkeen korjuu- kustannukset nuorista metsistä eri menetelmillä

Seloste artikkelista: Laitila, J. 2008. Harvesting technology and the cost of the fuel chips from early thinnings. *Silva Fennica* 42(2): 267–283.

Tutkimuksessa verrattiin ja analysoitiin nuorista metsistä korjattavan kokopuun korjuun kustan- nuksia ja tuottavuuksia leimikkotasolla ja laskettiin kokopuu- hakkeen tuotantokustannukset voimalaitok- selle toimitettuna työvaiheittain. Tutkimuksessa ko-



Kuva 1. Kokopuuhakkeen kustannusrakenne eri korjuuketjuilla ja haketusmenetelmillä.

kopuun hakkuu perustui koneelliseen tai metsuri-työnä tehtävään kaato-kasaukseen tai hakkuun ja metsäkuljetuksen suoritti energiapuukorjuri. Kokopuiden haketus tapahtui joko tienvarsivarastolla tai terminaalissa kuorma-autoalustaisella hakurilla. Hake kuljetettiin tienvarsivarastolta tai terminaalista käyttöpaikalle perävaunullisella hakeautolla. Kokopuiden autokuljetus tienvarsivarastolta terminaaliiin tehtiin perävaunullisella puutavara-autolla, jonka kuormatilassa oli katettu pohja ja laidat.

Koneellisessa kaato-kasauksessa työ tehtiin keskikokoisella hakkuukoneella joka oli varustettu keräävällä kaatopäällä. Metsurihakkuussa työmenetelmänä oli siirtelykaato kaatokahvoilla. Koneellisesti tai manuaalisesti kaato-kasattujen kokopuiden lähikuljetus tehtiin keskikokoisella metsätraktorilla. Energiapuukorjuri oli kuormatraktorialustainen ja yhdistelmäkouura soveltui puiden joukkokäsittelyyn hakkuutyössä. Hakkuun ja metsäkuljetuksen, samoin kuin kaukokuljetuksen tuottavuudet perustuivat aiemmin julkaistuihin ajanmenekkimalleihin. Koneiden ja ajoneuvojen käyttötuntikustannukset laskettiin tutkimuksessa. Metsurihakkuun kus-

tannukset perustuivat voimassa olleeseen työehtosopimukseen.

Kokopuuhakkeen korjuukustannuslaskelma pohjautui esimerkkileimikkoon, jossa metsäkuljetusmatka oli 200 metriä, kokopuun kertymä hehtaarilta 60 m³ ja pinta-ala 2 hehtaaria. Hakkuussa poistettavien puiden keskikoko oli 30 litraa. Kaukokuljetusmatka joko hakkeena tienvarsivarastolta suoraan käyttöpaikalle tai kokopuuna terminaaliiin oli 40 kilometriä. Hakkeen kuljetusmatka terminaalista käyttöpaikalle oli 10 kilometriä. Korjuukustannuslaskelmassa kokopuulla ei ollut kantohintaa.

Polttihakkeen korjuukustannukset voimalaitokselle toimitettuna olivat 31.9–41.6 €/m³ riippuen käytetystä kokopuun korjuuketjusta tai haketusmenetelmästä (kuva 1). Koneelliseen kaato-kasaukseen perustuvalla korjuuketjulla kokopuun korjuukustannukset tienvarteen toimitettuna olivat halvimmat ja energiapuukorjurilla ne olivat kaikkein kalleimmat. Koneelliseen kaatokasaukseen perustuvalla menetelmällä kokopuun korjuukustannus tienvarsivarastolla oli 19.1 €/m³, metsurihakkuuseen perustuvalla ketjulla 22.6 €/m³ ja energiapuukorjurilla 23.0 €/m³.

Kokopuuhakkeen korjuukustannuslaskelmassa kallein yksittäinen työvaihe oli kaato-kasaus, jonka osuus käyttöpaikkahinnasta oli noin 13 €/m³. Erot metsurityönä tai koneella tehdyn kaato-kasauksen kustannusten välillä olivat pienet lehtipuuvaltaisessa nuoressa metsässä mutta kun huomioidaan metsäkuljetuksen tehostuminen koneellisen kaato-kasauksen jäljiltä, on koneellinen korjuu selvästi metsurityötä edullisempaa. Energiapuukorjurilla korjuukustannukset olivat likimain samalla tasolla metsurityön kanssa, kun poistettavien puiden koko oli yli 23 litraa. Energiapuukorjurilla tuottavuutta on mahdollista parantaa pienillä kone- ja työtekniisillä muutoksilla. Tuottavuutta alentavat pullonkaulat samoin kuin parannusehdotukset on selostettu tutkimusjulkaisussa.

Tienvarsivarastolla haketukseen perustuvalla toimitusketjulla hakkeen tuotantokustannukset olivat selvästi edullisemmat kuin terminaalihaaketukseen perustuvalla toimitusketjulla. Terminaalihaaketuksen alemmat haketuskustannukset eivät riittäneet kattamaan kokopuun autokuljetuksen lisäkustannuksia, hakkeen käsittelykustannuksia terminaalisissa ja hakkeen toimituskustannuksia terminaalisissa käyttöpaikalle.

■ MMM Juha Laitila, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö. Sähköposti juha.laitila@metla.fi

Antti Lännpää, Tuomas Aakala,
Heikki Kauhanen ja Timo Kuuluvainen

Puiden kuolinsyyt pohjoisen Fennoskandian luonnontilaisissa kuusimetsissä

Seloste artikkelista: Lännpää, A., Aakala, T., Kauhanen, H. & Kuuluvainen, T. 2008. Tree mortality agents in pristine Norway spruce forests in northern Fennoscandia. *Silva Fennica* 42(2): 151–163.

Puiden kuolleisuus on keskeinen osa metsäekosysteemin toimintaa. Ilmiön tärkeydestä huolimatta se on luonnontilaisessa metsässä huo-

nosti tunnettu. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puiden kuolleisuuteen vaikuttavia tekijöitä ja kuolemisprosessia Pohjois-Fennoskandian kuusivaltaisissa luonnontilaisissa metsissä. Tutkimus keskittyy kahteen kysymykseen, puiden kuolinsyyden esiintymiseen ja runsauteen sekä puun kuolemaa edeltäneisiin kasvun muutoksiin.

Aineisto tutkimusta varten kerättiin kesän 2006 aikana Suomesta Pallas-Yllästunturin kansallispuistosta ja Venäjältä Kazkim-joen varrelta Murmankin alueella. Koealoja, joiden koko oli 40 m × 400 m, mitattiin Suomen puolella neljä ja Venäjällä viisi. Koealoilta inventoitiin kaikki kuolleet puut, ja määritettiin kuolinsyyt puille, jotka olivat lahoasteen perusteella päätellen kuolleet hiljattain. Kuolinsyyt määritettiin silmämääräisesti, käyttäen apuna patogeenisten lajien lajikuvauskuvaus. Kuolemaa edeltänyttä kasvua tutkittiin kairaamalla lustonäytteitä vuoden sisällä kuolleista puista sekä vertailua varren elävistä puista.

Puiden kuolinsyyden aineistosta laskettiin kunkin kuolinsyyden suhteellinen osuus. Kasvunäytteet jaettiin kuolinsyyden perusteella luokkiin, joita vertailtiin keskenään ja elävistä puista koostetun verrokkisarjan kanssa. Jokaiselle kuolinsyyryhmälle määritettiin viimeisen 25 vuoden kasvutrendi, jota käytettiin tilastollisten tarkastelujen pohjana.

Kuolinsyyt määriteltiin kaikkiaan 309 puulle. Näistä 72 %:lle voitiin määrittää ensisijainen kuolinsyy; 28 % tutkituista puista oli kuollut ilman näkyvää syytä. Yleisin havaittu abiottinen kuolinsyy oli tuuli. Suomen koealoilla 9 % ja Venäjän koealoilla 4 % puista oli kuollut tuulen kaatamana. Muiden abiottisten tuhojen osuus oli pieni. Molemmilla tutkimusalueilla yleisimmäksi puun ensisijaiseksi kuolinsyyksi määritettiin *Coniophora*-suvun sienten aiheuttama ytimen laho. Sieni aiheuttaa kuutiomaista tummanruskeaa ytimen lahoa, ja se arvioitiin ensisijaiseksi kuolinsyyksi 34 %:lle puista Suomen koealoilla ja 33 %:lle puista Venäjän koealoilla. Suomen koealoilla merkittäviä kuolinsyitä olivat myös lahottajasienet *Onnia leporina* (26 % puista) ja *Phellinus chrysoloma* (9 % puista). Venäjän koealoilta ei näistä lajeista tehty kuin yksittäisiä havaintoja. Hyönteisten merkitys puiden kuolleisuudelle arvioitiin molemmilla alueilla pieneksi. Suomen koealoilla *Callidium coriaceum* arvioitiin kuolinsyyksi 9 %:ssa tapauksista. Muiden hyönteisten osuus oli alle 5 %.



Kuva 1. Molemmilla tutkimusalueilla yleisin kuolinsyö oli lahottajasienen heikentämän puun katkeaminen tuulen vaikutuksesta. Kuva: Tuomas Aakala.

Kuolemaa edeltäneen kasvun tutkimista varten kasvunäytteiden ottoa laajennettiin koealojen ulkopuolelle. Näytteitä otettiin ainoastaan puista, jotka olivat kuolleet edeltävän vuoden aikana, ja jotka olivat kuolleet siten että puun murtumapinta oli näkyvässä. Näin näiden puiden kuolinsyö voitiin määrittää tarkasti. Riittävästi näytteitä saatiin *Coniophora* spp.:n tappamista puista Suomesta ja Venäjältä, sekä tunnistamattoman ytimen valkolahon tappamista puista ja tunnistamattoman koko puuta lahottavan valkolahon tappamista puista Suomesta. Verrattuna terveisiin valtapuihin, kuolleiden puiden kasvu oli keskimäärin merkittävästi alhaisempaa jo 25 vuotta ennen puun kuolemaa molemmilla alueilla. Myös kaikkien kuolinsyöttäinryhmiteltyjen sarjojen kasvu erosivat elävien valtapuiden puiden kasvusta.

Eri kuolinsyiden mukaan ryhmiteltyjen lustosarjojen kasvu eivät eronneet merkittävästi toisistaan. *Coniophora* spp.:n (ytimen ruskolaho) tappamien puiden kasvutarja sarja erosi koko puuta lahottavan valkolahon sarjasta lähes merkittävästi.

Tutkimuksen mukaan *Coniophora*-suvun lahottajasienet olivat molemmilla tutkimusalueilla puiden yleisin kuolinsyö. Ne heikentävät puun mekaanista lujuutta niin, että puut kaatuvat lopulta tuulen tai lumen murtamina (kuva 1). Keskimäärin puiden kasvu oli vuosina 2005–2006 kuolleilla puilla merkittävästi heikompaa jo 25 vuotta ennen kuolemaa. Tämä osoittaa, että puiden kuoleminen pohjoisissa kuusikoissa on pitkälinen ja monimutkainen prosessi, johon liittyy useimmiten sekä biotittisia että abioittisia tekijöitä.

■ MMM Antti Länneppää, MMM Tuomas Aakala, dosentti Timo Kuuluvainen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos; FM Heikki Kauhanen, Metsäntutkimuslaitos, Kolarin toimintayksikkö. Sähköposti tuomas.aakala@helsinki.fi

Ursula Schatz, Henrik Heräjärvi, Kari Kannisto ja Matti Rantatalo

Saha- ja leikkurikarsinnan vaikutukset rauduskoivun puuaineen värivikoihin, oksien kyljestymiseen ja läpimitan kasvuun

Seloste artikkelista: Schatz, U., Heräjärvi, H., Kannisto, K. & Rantatalo, M. 2008. Influence of saw and secateur pruning on stem discolouration, wound cicatrization and diameter growth of *Betula pendula*. *Silva Fennica* 42(2): 295–305.

Rauduskoivun nuoruusvaiheen pystykarsinta on yksi keino kasvattaa tyvitukin arvoa päätehakkuussa. Oksattoman viilutyvikoivun hinta on vähintään kaksinkertainen, enimmillään nelinkertainen tavalliseen vaneritukkiin verrattuna. Koivu on erittäin arka puulaji vioittumaan vähäisistäkin puuainetta paljastaneista haavoista. Tämän vuoksi on tärkeää tuntea pystykarsinnan työtekniikka ja -välineet. Tut-

kimuksen tavoitteena oli verrata kahdella eri menetelmällä pystykarsittujen rauduskoivujen oksanarpien kyljestymistä, karsinnan seurauksena runkoon levinneitä värivikoja ja karsinnan vaikutusta puiden läpimitan kasvuun.

Aineistona oli viljelyrauduskoivuja, jotka oli pystykarsittu 1980-luvun lopulla tai 1990-luvun alussa käyttäen oksasahaa (2 koemetsikköä, yhteensä 6 koepuuta Pohjois-Karjalasta) tai oksaleikkureita (1 koemetsikkö, 10 koepuuta Pohjois-Savosta). Koepuut kaadettiin ja katkottiin kahden metrin pituisiksi pölkyiksi. Lisäksi koepuista otettiin näytekiekot tyveltä ja kahden metrin korkeudelta kasvunopeuksien määrittämiseksi. Tukit sahattiin pyörösahalla ydinkeskeisesti 19 mm paksuiksi läpisaheiksi värivikojen määrittämiseksi. Kaikki läpisaheissa havaitut oksat analysoitiin tukin ytimeistä lähtien oksan päättymispisteeseen tai tukin pintaan asti. Oksista määritettiin läpimitta, laatu (terve, kuiva, laho) sekä oliko oksa karsiutumaton, karsiutunut vai karsittu. Karsittuja ja karsiutuneita oksia ei kaikissa tapauksissa voitu yksiselitteisesti erottaa. Niistä kuitenkin mitattiin katkeamispisteestä täydelliseen kyljestymiseen kulunut matka millimetreinä ja aika vuosirenkaiden lukumääränä. Lisäksi mitattiin oksista ympäröivään puuaineeseen levinneiden värivirheidien leviämistäisyys ylös, alas, sivuille, ytimeen ja pintaan päin. Värivirheet jaoteltiin luokkiin värivika, kova laho ja pehmeä laho. Oksa- ja värivirhemittauksia varten saheita pilkottiin edelleen pöytäsiirkelillä pienemmiksi palasiksi oksien ympäriltä. Yhteensä aineistoon mitattiin 570 oksaa, joista noin puolet oli läpimitaltaan 6–10 mm.

Verraten pienestä aineistosta huolimatta tulokset osoittivat selvästi, että oksaleikkureilla karsituissa rungoissa oli vähemmän värivikoja kuin sahalla karsituissa rungoissa. Lukuun ottamatta ytimen suuntaa, väriviat levisivät sahalla karsituissa rungoissa kaikkiin suuntiin vähintään kaksi kertaa etäämmäksi kuin oksaleikkureilla karsituissa rungoissa. Väriviat levisivät pääasiassa tasomaisesti katkaistun oksan ylä- ja alapuolelle sekä sivuille. Vain noin 7 % tutkituista oksista oli levittänyt värivirheitä kohti puun sydäntä ja noin 4 % kohti pintaa eli karsinnan jälkeen syntyneeseen puuaineeseen. Pintaa kohti leviävät väriviat ovat luonnollisesti haitallisimpia, koska ne pilaavat muutoin virheetöntä arvokasta pintapuuta. Koko aineistossa todennäköisyys sille, että väri-

vika leviää karsitusta oksasta kohti rungon pintaa, oli sahalla karsituille oksille yli kymmenkertainen verrattuna oksaleikkureilla karsittuihin oksiin. Sahalla karsituissakin puissa tämä todennäköisyys oli kuitenkin siis pieni, leikkurilla karsituissa puissa häviävän pieni.

Voimakkaisiin värivikoihin liittyi usein karsinnan yhteydessä aiheutettu kuoren repeäminen tai muu oksan tyvässä olevaan oksankaulukseen aiheutettu vaurio. Tämän tutkimuksen perusteella koivua karsittaessa onkin suositeltavaa jättää oksaan esim. noin 5 millimetrin pituinen oksantynkä. Tällöin oksankaulus- ja runkovauriot vähenevät ja runkopuuhun leviävien värivikojen määrä laskee. Samalla oksan kyljestymisaika pidentyy vuodelta tai kahdella, mutta se on värivikaantumista vähäisempi haitta.

Karsitut oksat kyljestyvät suunnilleen yhtä nopeasti karsintamenetelmästä riippumatta. Alle 20 millimetrin läpimittainen oksa kyljestyy umpeen 5–8 vuoden kuluessa, jonka jälkeen alkaa muodostua virheetöntä puuta.

Karsinnalla ei havaittu olevan selvää vaikutusta puiden läpimitan kasvuun. Kasvutuloksia ei kuitenkaan voida yleistää pienen aineiston vuoksi. Oksista levinneiden värivikojen analysointi sen sijaan osoitti, että oksaleikkurit soveltuvat sahaa paremmin rauduskoivun pystykarsintaan.

■ MMM Ursula Schatz, Mti Matti Rantatalo, Peltotieventie 27, Leppäjärvi; MMT Henrik Heräjärvä, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö; MMM Kari Kannisto, Metsäntutkimuslaitos, Parkanon toimintayksikkö. Sähköposti henrik.herajarvi@metla.fi

v ä i t ö s s e l o s t e i t a

Riitta Väänänen

Fosforin pidättyminen metsämaahan ja metsätalouden suoja- vyöhykkeiden toimivuus

Seloste väitöskirjasta: Väänänen, R. 2008. Phosphorus retention in forest soils and the functioning of buffer zones used in forestry. *Dissertationes Forestales* 60.

Tyyppillisiä boreaalisen vyöhykkeen metsämaita ovat podsoloituneet kivennäismaat ja turvemaat. Näiden maatyypin fosforinpidätysominaisuudet eroavat toisistaan selvästi, mutta erojen suuruudesta ei ole kattavasti tietoa. Maaperän fosforinpidätysominaisuudet voivat vaikuttaa metsätaloustoimien yhteydessä käytettävien suoja-
vyöhykkeiden toimintaan tai fosforin huuhtoutumisriskiin metsämaalta metsätaloustoimienpiteen jälkeen. Tarkempaa tietoa metsämaan fosforinpidätysominaisuuksista tarvitaan, jotta voidaan arvioida paremmin näiden vaikutusten suuruutta.

Maaperän fosforinpidätysominaisuuksia tutkittiin kivennäismaan hakkuualoilla ja niiden ja vesistön väliin jätetyillä puustoisilla suoja-
vyöhykkeillä sekä turvemaille kunnostusojituksen yhteydessä perustetuilla suoja-
vyöhykkeillä. Maaperän fosforinpidätyskyky määritettiin desorptio-sorptio isotermien avulla orgaaniselle humuskerrokselle, podsolimaannoksen E-, B- ja C-horisonteille sekä turvemailloilla 0–15 cm:n ja 15–30 cm:n syvyydessä oleville turvekerroksille. Turvemaille muodostettujen suoja-
vyöhykkeiden fosforinpidätyskykyä tutkittiin syöttämällä fosfaattifosforiliuosta kuudelle suoja-
vyöhykkeelle ja selvittämällä suoja-
vyöhykkeelle jääneen fosforin määrä. Lisäksi yhdellä suoja-
vyöhykkeellä tutkittiin lisätyn fosforin allokaatiota maaperään ja kasvilisäyksen merkkiaineen avulla.

Podsolimaannoksen B-horisontti pidatti fosforia erittäin tehokkaasti kun taas E-horisontti ja hakkuualan humuskerros eivät pidättäneet lainkaan fosforia. Jos fosforipitoinen vesi huuhtoutuu B-horisontin läpi, käytännössä kaikki fosfori pidättyy siihen. Humuskerroksen heikko fosforinpidätyskyky viit-

taa siihen, että sen merkitys on vähäinen puustoisien suoja-
vyöhykkeen fosforinpidätyskyvyn kannalta. Turpeen fosforinpidätysominaisuuksissa havaittiin paljon vaihtelua. Suoja-
vyöhykkeen toimivuuden kannalta fosforin kemiallinen pidättyminen turpeeseen oli tärkeää erityisesti kasvukauden ulkopuolella varhain keväällä ja myöhään syksyllä.

Turvemaalle perustetut suoja-
vyöhykkeet pidättivät fosforia tehokkaasti valumavedestä. Suoja-
vyöhykkeen fosforinpidätyskykyä edistivät suoja-
vyöhykkeen suuri koko ja valumaveden alhainen hydrologinen kuormitus kun taas suuri hydrologinen kuormitus ja siihen tyypillisesti liittyvä oikovirtausuomien muodostuminen heikensivät suoja-
vyöhykkeen fosforinpidätyskykyä. Vaikkakin suuret suoja-
vyöhykkeet toimivat parhaiten, havaittiin, että myös pienet suoja-
vyöhykkeet voivat toimia tehokkaasti fosforin pidättäjinä.

■ Riitta Väänänen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos.
Sähköposti riitta.vaananen@helsinki.fi

Taru Palosuo

Maahiilimallinnus metsien maaperän hiilivaraston ja -varastomuutosten arvioinnissa

Seloste väitöskirjasta: Palosuo, T. 2008. Soil carbon modeling as a tool for carbon balance studies in forestry. *Dissertationes Forestales* 61.

Metsien maaperä on merkittävä hiilen varasto. Ilmastonmuutos ja erilaiset metsänkäsittelyt vaikuttavat paitsi puuston biomassan myös maaperän hiilivarastoon. Näitä vaikutuksia ei kuitenkaan vielä täysin tunneta. Kansainvälinen ilmastopöytäkirja kuitenkin velvoittaa sopijamaat raportoimaan myös maaperän hiilivarastossa tapahtuvat muutokset. Maaperän hiilivaraston muutosten arviointi mitaamalla on hyvin vaikeaa ja työlästä, koska varaston spatiaalinen vaihtelu on suurta verrattuna ajallisiin muutoksiin. Tämän vuoksi hiilivaraston ja sen muutosten arvioinnissa käytetään usein malleja.

Tässä väitöskirjassa kehitettiin ja testattiin kivennäismaiden metsien orgaanisen aineen hajoamista ja maaperän hiilivaraston dynamiikkaa kuvaava YASSO-malli. Mallilla pyrittiin kuvaamaan tärkeimmät hiilivaraston dynamiikkaan vaikuttavat tekijät, mutta silti pitämään malli niin yksinkertaisena, että sen toimintaperiaatteiden ymmärtäminen ja käyttö sovelluksissa olisi helppoa. Väitöskirja sisältää mallin rakenteen ja oletusten kuvauksen sekä mallin parametrien määrittämisen mittauksen avulla. Mallin toimintaa arvioitiin tarkastelemalla mallitulosten herkkyyttä parametrien muutoksille, tutkimalla mallitulosten tarkkuutta epävarmuusanalyysin avulla ja vertaamalla mallituloksia mitattuihin havaintoihin ja toisen maamallin antamiin tuloksiin.

Väitöskirjassa esitetään lisäksi kolme erilaista mallin sovellusta, joista kaksi käsittelee hakkuutähteiden talteenoton ja energiakäytön vaikutusta maaperän hiilivarastoon metsikkötasolla. Kolmannessa mallia käytetään osana metsien inventointitietoihin perustuvaa hiilitaseen arviointimenetelmää kansallisella tasolla. Kyseisessä osatutkimuksessa Suomen metsien kasvillisuuden ja kivennäismaiden maaperän hiilitase arvioitiin vuosina 1922–2004.

Epävarmuus- ja herkkyyksianalyysien mukaan YASSO-mallin hiilivarastoarviot ovat epävarmoja, sillä näihin arvioihin vaikuttavat malliparametrit tunnetaan huonosti. Hiilivarastomuutosten arviot sen sijaan ovat verrattain tarkkoja, sillä näihin vaikuttavat parametrit tunnetaan paremmin. Mallin testaus laajalla kanadalaisella kärkepussiaineistolla osoitti, että malli onnistui kohtalaisesti kuvaamaan erilaisten karikkeiden hajoamisen erilaisissa ilmasto-olosuhteissa.

Mallin dynaaminen lähestymistapa osoittautui tehokkaaksi sovelluksissa, joissa se yhdistettiin metsikkömalliin tai inventointitietoihin ja biomass- ja karikemalleihin. Jotta malli paremmin soveltuisi maaperän hiilivaraston dynamiikan arvioimiseen laajemmilla maantieteellisillä alueilla, erilaisilla maankäyttömuodoilla ja laajemmissa tutkimuskysymyksissä, mallin oleellisia kehitysalueita ovat ilmastotekijöiden vaikutusten kuvauksen tarkentaminen sekä typpidynamiikan ja maalajin huomioiminen.

Mallisovellusten mukaan hakkuutähteiden keruu hakkuiden jälkeen vähentää maaperään siirtyvää hiilen määrää ja tämä hiilivarastomuutos on merkittävä verrattuna muihin hakkuutähteiden energiakäytön aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin. Kansal-

lisella tasolla metsien maaperän hiilivarastolla on merkittävä rooli metsien hiilitaseessa.

■ Taru Palosuo, European Forest Institute
Sähköposti taru.palosuo@efi.int

Saija Huuskonen

Nuorten männiköiden kehitys – taimikonhoito ja ensiharvennus

Seloste väitöskirjasta: Huuskonen, S. 2008. Nuorten männiköiden kehitys – taimikonhoito ja ensiharvennus. *Dissertationes Forestales* 62.

Tutkimuksessa tarkastellaan metsikön sijainnin, kasvupaikan, syntyvän ja taimikonhoidon vaikutusta nuorten tasaisten ja puhtaiden männiköiden metsänhoidolliseen tilaan ja kehitykseen. Lisäksi työssä arvioidaan ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden tuotos- ja tuottovaikutuksia aina kiertoajan loppuun asti.

Nuorten männiköiden tiheys, ulkoinen laatu ja metsikkötason kasvumallien laadinta perustuvat Metsäntutkimuslaitoksen talousmetsien taimiköiden inventointikokeisiin (TINKA) (kolme mittauskertaa, 192 metsikköä). Taimikonhoidon vaikutus metsikön kehitykseen pohjautuu Metsäntutkimuslaitoksen järjestettyihin taimikkokokeisiin (13 metsikköä, 169 koealaa). Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus metsikön tuotokseen ja tuottoon perustuu Metsähallituksen 27 ensiharvennusmetsikön mittauksiin ja metsikön jatkokehityksen ennusteisiin MOTTI-ohjelmistolla. Työ koostuu neljästä osajulkaisusta ja niiden yhdistelmästä.

Tutkimuksessa laadittiin koko maan kattavat metsikkötason kasvumallit, joilla pystytään kuvaamaan luotettavasti nuorten, kasvatuskelpoisten mäntyjen kehitys ensiharvennusvaiheeseen saakka.

Nuorten, 1970–1980-luvulla perustettujen, männiköiden tiheys on kohtalaisen alhainen. Lisäksi nuoris- ja männiköissä on paljon ulkoisia laatuviikoja. Heikko laatu yhdistettynä kohtalaisen alhaiseen tiheyteen johtaa laatuharvennustarpeeseen, mikäli halutaan kasvattaa laatu puuta. Pohjois-Suomessa metsikön val-

tapuista vain 20 % on hyvälaatuisia. Tämä tarkoittaa sitä, että hyvälaatuisia valtapuita ei ole tarpeeksi kasvatettavaksi kiertoajan loppuun asti. Aikainen ja lievä taimikonhoito (valtapituus 3 metriä, tiheys 3000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen) lisää ensiharvennuskertymää 40 % verrattuna myöhäiseen ja voimakkaampaan taimikonhoitoon (valtapituus 7 metriä, tiheys 2000 puuta hehtaarilla taimikonhoidon jälkeen). Taimikonhoidon ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta ensiharvennuksen ainespuukertymään voidaan tarkastella työssä laadituilla malleilla käytännön metsäsuunnittelutilanteissa.

Ensiharvennuksen ainespuukertymä kaksinkertaistuu, kun ensiharvennusta viivästetään 12 metrin valtapituusvaiheesta 16 metrin valtapituusvaiheeseen tai vastaavasti 10 vuodella. Ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodella lisää ensiharvennuksen kantorahatulaja 65 % (330 €/ha, 4 %:n laskentakorkokannalla). Kantohintojen vaihtelu tai laskentakorkokannan muutokset eivät heikennä ensiharvennuksen viivästämisestä kannattavuutta hoidetuissa nuorissa metsissä. Ensiharvennuksen viivästäminen edellyttää, että taimikonhoito on tehty ajallaan eikä metsikön laatu- ja laatuolosuhteiden tarvitse kiinnittää erityistä huomiota. Ensiharvennuksen viivästämisellä 10 vuodella ei ole merkittävää vaikutusta koko kiertoajan tuotokseen (m^3/ha) tai kantorahatulojen nykyarvoon (€/ha) 0–4 %:n laskentakorkokannoilla.

■ Saija Huuskonen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos.
Sähköposti saija.huuskonen@helsinki.fi

Eeva J. Vainio

Juurikäävän biologisen torjunnan vaikutukset lahoppuun sienilajiston monimuotoisuuteen

Seloste väitöskirjasta: Vainio, E.J. 2008. Ecological impacts of *Phlebiopsis gigantea* biocontrol treatment against *Heterobasidion* spp. as revealed by fungal community profiling and population analyses. Dissertations Forestales 63.

Juurikääpien sukuun kuuluvat lahottajasienet (*Heterobasidion* spp.) ovat taloudellisesti merkittävien

havupuiden juuri- ja tyvilahon aiheuttaja Pohjois-Euroopassa. Juurikäpätartuntoja voidaan kuitenkin estää tehokkaasti hyödyntämällä juurikäävälle antagonistista harmaaorvakkasientä (*Phlebiopsis gigantea*), josta on Suomen oloihin kehitetty biologinen kantokäsittelyaine, Rotstop (Verdera Oy).

Tämä tutkimuskokonaisuus käsittelee harmaaorvakkakäsittelyn vaikutuksia havupuun kannoissa esiintyvän sienilajiston monimuotoisuuteen. Työn puitteissa kehitettiin menetelmä, jolla ympäristönäytteiden sienilajistoa voidaan tarkastella suoraan lahosta puuaineksesta kullekin sienilajille ominaisten ribosomaalisten merkkimolekyylien (SSU rDNA) monistuksen ja DGGE-analyysin perusteella. Tutkimuksessa osoitettiin lahoppuusta suoraan eristettyjen DNA-näytteiden paljastavan lajistoa, jota ei tavoitettu vertailevassa viljelyanalyysissä. Rotstopilla käsiteltyjä ja käsittelemättömiä kantoja vertaillaessa osa lajistosta näytti hyötyvän tai kärsivän käsittelystä, mutta sienidiversiteetin yleistasossa ei kuitenkaan havaittu tilastollisesti merkitsevää laskua käsitellyillä koealoilla.

Harmaaorvakan osalta kantokäsittelyn vaikutuksia paikallisten populaatioiden monimuotoisuuteen tarkasteltiin havupuiden kannoista eristetyistä puhdasviljelmistä vertaillen Rotstopilla käsiteltyjä sekä käsittelemättömiä koealoja. ISSR-merkkimolekyylien perusteella voitiin todentaa Rotstop-genotyypin säilyminen kuusen kannoissa kuusi vuotta käsittelyn jälkeen sekä leviäminen myös saman koealan käsittelemättömiin kantoihin. Toisaalta Rotstop-kannan ei havaittu levinneen samoilta koealoilta viiden vuoden kuluttua käsittelystä kaadettujen puiden kantoihin. Lisäksi harmaaorvakan luontainen levintä käsitellyille koealoille näytti estävän tehokkaasti perinnöllisesti monomorfisen populaation syntymisen lyhyellä aikavälillä.

Harmaaorvakkasienen lajinsisäisen muuntelun tasoa selvitetessä havaittiin selvä maantieteellinen erilaistuminen sienien eurooppalaisten ja pohjois-amerikkalaisten populaatioiden välillä. Tulosten perusteella biologiseen torjuntaan tulisi käyttää ainoastaan paikallisia harmaaorvakkakantoja, jotta voidaan välttyä geneettisen aineksen siirtymiseltä ja mahdollisten hybridikantojen muodostumiselta.

Juurikäävän populaatioanalyysin perusteella voitiin osoittaa Kiinasta peräisin olevien juurikäpäkantojen kuuluvan samaan taksonomiseen ryhmään

kuin eurooppalainen kuusenjuurikäpää (*H. parviporum*). Siten tällä patogeenilajilla näyttäisi olevan katkeamaton levinneisyys ulottuen Euroopasta Etelä-Siperian kautta aina pohjoiseen Kiinaan asti.

■ Eeva Vainio, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka. Sähköposti eeva.vainio@metla.fi

Heikki Nuorteva

Elävän latvuksen supistumisen vaikutus neulasten alkuainepitoisuuksiin männiköissä

Seloste väitöskirjasta: Nuorteva, H. 2008. Effects of living crown reduction on needle element status of Scots pine. *Dissertationes Forestales* 64.

Useat eri bioottiset ja abioottiset tekijät luonnossa aiheuttavat neulasmenetystä l. defoliaatiota ja elävän latvuksen äkillistä heikentymistä. Versosurma (entiseltä nimeltään männynversosyöpä) on surmakka-sienen (*Gremmeniella abietina*) aiheuttama tauti, joka on viime vuosikymmeninä laajalti aiheuttanut mäntyjen elävän latvuksen supistumista ja puiden kuolemaa Skandinaviassa. Erityisesti 1980-luvun pahojen versosurmatuhojen aikaan mäntyjen sairastumista tautiin yritettiin toisinaan todistaa ilman typpi- ja rikkilaskeumien aiheuttamaksi mm. männyn neulasten typpi- ja rikkipitoisuuksien lievästi kohonneilla arvoilla. Defolioituneiden puiden neulasten kohonneita tai alentuneita ravinne- tai alkuainepitoisuuksia käytetään eri puolilla maailmaa joissakin tutkimusraporteissa toisinaan yhä edelleen selityksenä puiden heikkoon kuntoon tai harsuuntumiseen, ajattelematta että itse äkillinen latvuksen supistuminen voisi vaikuttaa puun ravinnetilaan.

Tässä väitöskirjassa tutkittiin elävän latvuksen supistumisen pitkäaikaisvaikutuksia männynneulasten alkuainepitoisuuksiin kolmen erillisen kokeen avulla. Latvussuhdetta l. elävän latvuksen pituutta suhteessa puun pituuteen käytettiin neulasmenetyksen määrän arviointikeinona. Tutkimusmateriaali kerättiin vuosina 1987–1996 yhteensä 13 eteläsuomalaisen männikön

488 koepuusta, joista 140 oli versosurmaan sairastunut, 116 pystykarsittua ja 232 kontrollipuuta. Jokaisen koepuun neulasnäytteestä (yhteensä 968 kpl) analysoitiin 15–17 alkuaineen pitoisuudet.

Kaikki väitöskirjan kolme osakoetta osoittivat, että taudin aiheuttama elävän latvuksen supistuminen tai puiden elävien oksien voimakas karsinta voi aiheuttaa pitkäaikaisia ravinnemuutoksia toipuvien mäntyjen uusimmissa neulasissa. Puissa, joiden latvusta versosurma oli pienentänyt n. 50 %, oli mm. typpi-, rikki-, mangaani- kalsium- ja booripitoisuudet korkeampia ja magnesium- sekä rautapitoisuudet alempia kuin viereisissä tervelatvuksisissa puissa 5–10 vuoden jälkeen tuhoista. Keinotekoinen voimakas karsinta (n. 70 % elävästä latvuksesta) muutti (nosti tai laski) kaikkien analysoitujen 17 alkuaineen neulaspitoisuuksia jossakin määrin seuraavien kolmen vuoden aikana. Aiemmissä tutkimuksissa on yleisesti esitetty, että defoliaatio vaikuttaisi vain vähän männynneulasten ravinnekemiaan. Nyt esitetyn väitöskirjatutkimuksen mukaan taudin tai ihmisen karsinnalla aiheuttama elävän latvuksen äkillinen pieneneminen voi aiheuttaa biologisesti merkittäväkin nousua tai laskua useimpien ravinteiden ja mm. hiilen pitoisuuksissa tuhon jälkeisissä uusissa neulasissa.

■ Heikki Nuorteva, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka. Sähköposti heikki.nuorteva@metla.fi

Veli-Pekka Ikonen

Männyn kasvun ja puuaineen ominaisuuksien sekä saheidn laadun mallintaminen liittyen metsänhoitoon

Seloste väitöskirjasta: Ikonen, V.-P. 2008. Modelling the growth and properties of stem and wood of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as related to silvicultural management with implications for sawing yield and properties of sawn pieces. *Dissertationes Forestales* 65.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli mallintaa männyn (*Pinus sylvestris* L.) kasvua sekä run-

gon ja puuaineen ominaisuuksien kehitystä. Lisäksi tavoitteena oli tutkia, miten metsänhoito vaikuttaa rungon oksikkuuteen ja muihin puuaineen ominaisuuksiin sekä sahatavaran saantoon ja ominaisuuksiin. Tutkimuksessa kehitettiin edelleen olemassa olevaa kolmiulotteista männyn kasvumallia, joka ennustaa rungon ja puuaineen ominaisuuksia. Kolmiulotteista kasvumallia käytettiin myös yhdessä sahaussimulaattorin kanssa, kun tutkittiin miten metsänhoito (puuston alkutiheys, harvennus ja oksien pystykarsinta) vaikuttaa sahatavaran laatuun ja saantoon. Lisäksi kehitettiin empiirisiä malleja rungon paksuuskasvun ja puuaineen ominaisuuksien, kuten kevätpuun osuuden, puuaineen tiheyden ja kuidun pituuden ennustamiseksi rungon eri osissa. Näitä empiirisiä malleja hyödynnettiin edelleen prosessipohjaisella kasvu- ja tuotosmallilla tehtävissä simuloinneissa.

Työssä havaittiin, että sahatavaran laadun maksimoimiseksi tulisi kiertoajan alussa metsikköä kasvattaa tiheässä (jopa 5 000 runkoa hehtaarilla), jotta oksien kasvua saataisiin hillittyä, ja vastaavasti kiertoajan lopussa metsikön tulisi olla suhteellisen harva (esimerkiksi 500 runkoa hehtaarilla), jotta kuolleiden oksien luontainen karsiutuminen ja oksien kylestyminen nopeutuisivat ja rungon tilavuuskasvu olisi mahdollisimman suuri. Lisäksi havaittiin, että rungon paksuuskasvu ja puuaineen ominaisuudet rungon eri osissa vaihtelivat suuresti johtuen metsikön kehitysvaiheesta (nuoresta varttuneeseen metsikköön), metsänkäsittelystä (puuston alkutiheydestä ja harvennushakkuista) sekä puiden metsikköasemasta (vallitussa asemassa olevat puut ja valtapuut). Lisäksi kyseiset ominaisuudet vaihtelivat huomattavasti tarkastelun kohteena olevan rungon osan mukaan (koko runko keskimäärin, rungon sisä-, pintatai latvaosa). Johtopäätöksenä todettakoon, että tässä työssä kehitetyillä integroiduilla malleilla voidaan tutkia, miten metsänhoito vaikuttaa samanaikaisesti sekä puiden kasvuun että ominaisuuksiin.

■ Veli-Pekka Ikonen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Sähköposti veli-pekka.ikonen@joensuu.fi

Jouni Kilpeläinen

Kekomuurahaisten (*Formica rufa* -ryhmä) vaikutus maaperän ominaisuuksiin ja puuston kasvuun hoidetuissa boreaalisissa metsissä

Seloste väitöskirjasta: Kilpeläinen, J. 2008. Wood ants (*Formica rufa* group) in managed boreal forests: implications for soil properties and tree growth. Dissertationes Forestales 66.

Kekoja rakentavat muurahaiset ja erityisesti *Formica rufa* -ryhmän lajit ovat levinneet laajalle Euroasian boreaalisissa metsissä, ja ne vaikuttavat ekosysteemin toimintaan monin tavoin. Kekomuurahaiset mm. keskittävät orgaanista ainetta ja ravinteita kekopesiinsä, saalistavat suuria määriä hyönteisiä, ja keräävät kirvojen erittämää mesikastetta. Muurahaiset kärsivät avohakkuista, jotka mm. vähentävät niiden ravintoresursseja. Muurahaiskoloniat kuitenkin vähitellen toipuvat tai uusiutuvat ja lisääntyvät metsän sukkession edetessä. Muurahaisten merkitys voi siis muuttua metsän iän mukana. Väitöskirjatyön tavoitteena oli tutkia 1) kekomuurahaisten esiintymistä boreaalisissa metsissä, 2) hiilen, ravinteiden ja juurten määriä muurahaiskeoissa sekä 3) muurahais-kirva-mutualismin vaikutusta kuusen (*Picea abies* L. Karst.) kasvuun. Muurahaiskeojen esiintymistä ja siihen vaikuttavia puusto- ja kasvupaikkatekijöitä tutkittiin Valtakunnan metsien kolmannen inventoinnin aineiston avulla. Hiilen, ravinteiden ja juurten määriä muurahaiskeoissa sekä muurahais-kirva-mutualismin vaikutusta kuusen kasvuun tutkittiin Itä-Suomessa 16 metsikössä, jotka edustivat ikäluokkia 5, 30, 60 ja 100 vuotta.

Kekotiheydet olivat suurimmillaan Etelä-Suomessa kuusi- ja koivuvaltaisissa varttuneissa tuoreissa sekametsissä. Myös Itä-Suomen tutkimusmetsiköissä kekoja oli enemmän ja ne olivat lisäksi suurempia vanhemmissa kuin nuoremmista metsiköissä. Kekoja rakentavien muurahaisten lajimäärä oli suurempi nuoremmista metsissä, kun taas *F. aquilonia* Yarr. oli ainoa laji vanhimmissa metsissä. Suurin osa keoista sijaitsi metsiköiden reunoilla. Kekojen

hiili-, typpi- ja fosforipitoisuudet olivat korkeammat kuin ympäröivässä maaperässä. Kivennäismaassa oli enemmän ohutjuuria kekojen alla kuin niiden ympärillä. Muurahais-kirva-mutualismi vähensi merkittävästi yksittäisten kuusten sädekasvua 30-vuotiaissa metsiköissä. Metsikkötasolla muurahaiskekojen osuus maan hiili- ja ravinnevarastoista ja juurten biomassasta oli pieni, ja muurahais-kirva-mutualismin vaikutus kuusen kasvuun oli vähäinen. Kekomuurahaiset kuitenkin lisäävät merkittävästi paikallista vaihtelua hiilen, ravinteiden ja juurten määrässä sekä puiden kasvussa.

■ Jouni Kilpeläinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö. Sähköposti jouni.kilpelainen@metla.fi

Terhi Riutta

Sarasuon hiilikaasudynamiikka muuttuvissa kosteusolosuhteissa

Seloste väitöskirjasta: Riutta, T. 2008. Fen ecosystem carbon gas dynamics in changing hydrological conditions. *Dissertationes Forestales* 67.

Pohjoisten soiden arvioidaan sisältävän kolmannes kaikesta maaperän hiilestä. Suot ovat paitsi hiilen nieluja myös maapallon suurimpia luonnollisia metaanin lähteitä. Ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa sekä soiden hiilenkiertoon että hiilivarastoihin. Korkea vedenpinnan taso vaikuttaa merkittävästi sekä hiilen kertymiseen soihin että metaanipäästöihin soista. Siksi hydrologiset muutokset ovat erityisen tärkeitä arvioitaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia suoekosysteemiin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää sarasuoekosysteemin hiilidioksidi- ja metaanidynamiikka eri spatiaalisilla tasoilla: kasvilajiryhmätasolla, kasvivyhdyskuntatasolla sekä ekosysteemitasolla, sekä normaaleissa kosteusolosuhteissa että alhaisen vedenpinnan vallitessa. Hiilivirtoja mitattiin kahdella sarasuolla Etelä-Suomessa käyttäen suljetun kammion menetelmää sekä eddy kovarianssi -tekniikkaa.

Normaaleissa kosteusolosuhteissa suoekosysteemi

mi oli hiilidioksidin nielu ja metaanin lähde. Rahkasammalet (*Sphagnum*) sekä saramaiset kasvit olivat ekosysteemin tärkeimmät yhteyttäjät. Saramaisten kasvien läsnäolo lisäsi selvästi metaanipäästöjä kun taas varpujen läsnäolo pienensi niitä. Hiilivirrat vaihtelivat huomattavasti kasvivyhdyskuntien välillä, joten ekosysteemitason hiilivirrat määräytyivät kasvivyhdyskuntien osuuksien mukaan.

Vedenpinnanlaskukäsittely pienensi huomattavasti saramaisten kasvien ja rahkasammalten fotosynteesiä ja respiraatiota ja toisaalta hyödytti varpuja. Siksi muutokset ekosysteemitasolla olivat pienempiä kuin kasvilajiryhmätasolla. Pienentyneen fotosynteesin ja suurentuneen respiraation (lähinnä suurentuneen turpeen respiraation) vuoksi sarasuosta tuli aikaisempaa pienempi hiilidioksidin nielu. Metaanipäästöt pienenevät merkittävästi, lähelle nollaa. Luonnollisten kuivuusjaksojen vaikutus oli samankaltainen mutta vähäisempi kuin vedenpinnanlaskukäsittelyn. Tulokset soveltuvat lyhytaikaisen vedenpinnan laskun vaikutusten tarkasteluun ja ilmasto-olosuhteisiin joissa kuivuusjaksot yleistyvät.

■ Terhi Riutta, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos ja University of Oxford, Environmental Change Institute. Sähköposti terhi.riutta@ouce.ox.ac.uk

Sanni Raiskila

Ligniinin määrän ja ligniinin modifioinnin vaikutus kuusen puuaineen ominaisuuksiin ja lahonkeston

Seloste väitöskirjasta: Raiskila, S. 2008. The effect of lignin content and lignin modification on Norway spruce wood properties and decay resistance. *Dissertationes Forestales* 68.

Työssä tutkittiin kolmea erilaista kuusipistokaskloonaa, jotka kasvavat kolmella maaperä- ja ilmasto-olosuhteiltaan erilaisella kasvupaikalla. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää sädekasvunopeuden, puun ominaisuuksien ja ligniinipitoisuus-

den vaihtelua sekä modifioida ligniiniä luonnollisella monomeerilla, koniferyylialkoholilla, käyttäen hyväksi puussa olevia peroksidaasientsyymejä. Työssä tutkittiin myös torjunta-aineiden hajoa- mistuotteiden, kloorattujen aniliinien, sitoutumista ligniinipolymeeriin synteettisten malliaineiden ja synteettisen ligniinin avulla.

Sydän-, pinta- ja kevätpuun ligniinipitoisuus määritettiin infrapunaspektroskopian (FTIR) ja pääkomponenttiregression (PCR) avulla. Puunäytteet käsiteltiin koniferyylialkoholilla alipainekyllästysmenetelmää käyttäen. Käsitelyn vaikutus arvioitiin FTIR:llä ja puun kestävyys testattiin lahotuskokeen avulla.

Viljavalla kasvupaikalla kuusen kasvunopeus ja pintapuun ligniinipitoisuus olivat suurimmat mutta kesäpuuosuus, tiheys ja murtolujuus pienimmät. Kasvunopeus oli pienin karulla kasvupaikalla, kun taas kesäpuuosuus ja tiheys olivat suurimmat ja lujuusominaisuudet parhaimmat. Nopeimmin kasvaneen kloonin kesäpuuosuus ja tiheys olivat pienimmät ja lujuusominaisuudet heikoimmat. Hitaimmin kasvaneen kloonin pintapuun ligniinipitoisuus oli pienin, kesäpuuosuus ja tiheys suurimmat ja lujuusominaisuudet parhaimmat. Kasvupaikkojen ja kloonien väliset erot olivat pieniä, kun taas yksittäisten puiden ja kasvukausien välinen vaihtelu oli melko suurta.

Koniferyylialkoholi-käsittely lisäsi puun ligniinin kaltaisten fenolisten yhdisteiden pitoisuutta ja kestävyyttä valkolahottajasientä (*Coriolus versicolor*) vastaan. 3,4-dikloorianiliini sitoutui synteettisen ligniinin β -O-4 rakenteisiin bentsyylamiinisisidoksella.

Havainnot osoittivat, että pistokaskloonien ominaisuudet säilyivät eri kasvupaikoilla, vaikka puiden välinen vaihtelu oli suurta ja ilmastotekijät vaikuttivat kasvuun. Luonnollista monomeeria, koniferyylialkoholia, ja kloorattuja anilineja voitiin sitoa ligniinipolymeeriin in vivo ja in vitro. Koniferyylialkoholi-käsittely paransi puun kestävyyttä lahottajasientä vastaan. Klooratut aniliinit sitoutuivat ligniiniin kovalenttisesti ja muodostunut sidos kesti happohydrolyysin.

■ Sanni Raiskila, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti sanni.raiskila@metla.fi