

Ilari Lehtonen, Petri Hoppula,
Pentti Pirinen ja Hilppa Gregow

Tykkylumen alueellinen esiintyminen Suomessa kahden laskentamenetelmän perusteella

Seloste julkaisusta: Lehtonen, I., Hoppula, P., Pirinen, P. & Gregow, H. 2014. Modelling crown snow loads in Finland: a comparison of two methods. *Silva Fennica* 48(3), article id 1120.

<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1120>

Tykyn kertyminen puihin aiheuttaa toistuvasti metsätuhoja kylmissä ilmastoissa. Lisäksi tykkyyntyminen aiheuttaa häiriöitä esimerkiksi sähkönjakeluun, kun tykkylumen vaurioittamat puut taipuvat tai katkeavat voimalinjojen päälle. Tutkimuksessa selvitettiin tykkylumikuormien alueellista ja ajallista esiintymistä Suomessa jaksolla 1961–2010. Puiden lumikuormien mallintamiseen käytettiin Ilmatieteen laitoksella tykkykuormien ennustamiseen erityisesti sähköyhtiöiden tarpeita varten kehitettyä laskentamenetelmää. Menetelmä myös jaottelee lumikuorman neljään eri tyyppiin: kuivaan, märkään ja jäätyneeseen lumeen sekä huurretykkyyntiin. Lisäksi lumikuormia mallinnettiin Gregowin ym. tutkimuksessa (2008) käytetyllä yksinkertaisemalla laskentamenetelmällä, joka ei muun muassa huomioi huurteen kertymistä. Laskelmien pohjana käytettiin 29 eri paikkakunnalla tehtyjä säähavainnotia. Lisäksi tykkymallin todentamiseen käytettiin Hyytiälän metsäasemalla tehtyjä säähavainnotia sekä päivittäisiä monitorointikuvia puiden latvustojen lumisuudesta kolmen talven ajalta. Etenkään Lapissa, missä korkeusvaihtelut ovat suurempia kuin muualla Suomessa, havaintoverkon tiheys ei ollut aivan tyyp-

dyttävällä tasolla pienipiirteisten erojen havaitsemiseksi tykyn esiintymisessä.

Tykyn määrän laskentaan käytettiin kolmen tunnin välein tehtyjä havainnotia lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja tuulen nopeudesta sekä päivittäisiä sadesummia. Ilmatieteen laitoksen tykkymalli tarvitsee lisäksi tietoa pilvisyydestä ja auringonsäteilystä, mutta näiden vaikutus jätettiin laskelmissa huomioimatta, koska havaintoaineistoa ei näistä sääsuureista ollut riittävästi ja lisäksi niiden vaikutus on kohtalaisen vähäinen ja rajoittuu vain tiettyihin tilanteisiin. Pilvisuus vaikuttaa mallissa ainoastaan huurteen kertymiseen; joissain tilanteissa pilvisyyden huomioiminen olisi vähentänyt huurteen kertymistä. Auringonsäteilyn tykkykuormia pienentävä vaikutus on puolestaan merkittävä ainoastaan kevättalvella. Käytössä olleista säähavainnoista tuulihavainnot olivat huonolaatuisimpia siinä mielessä, että eri asemilla tehdyt havainnot eivät välttämättä ole kovin hyvin keskenään vertailukelpoisia, eivätkä aina edes saman aseman havainnot eri aikakausilta. Tämä aiheutti jonkin verran virhettä tuloksiin.

Kuvassa 1 on esitetty sellaisen puiden lumikuorman suuruus, joka saavutettiin laskentamenetelmien mukaan keskimäärin yhtenä päivänä vuodessa jaksolla 1961–2010. Molempien menetelmien perusteella keskimäärin suurimmat lumikuormat esiintyvät Itä-Suomessa lähellä Venäjän rajaa ja pienimmät puolestaan rannikkoseuduilla. Lisäksi huomataan, että lumikuormat ovat uuden menetelmän perusteella pääosin suurempia kuin Gregowin ym. menetelmän perusteella arvioituna. Vain Pohjois-Suomessa tilanne on paikallisesti päinvastainen. Oletettavasti Pohjois-Suomen alueella mallin simuloimat lumikuormat ovat yleensä liian pieniä, ainakin tunturi- ja vaaraseuduilla. Osittain tämä johtunee käytössä olleen havaintoaineiston painottumisesta laakso- ja vaaraseuduille ja toisaalta huurretykyn mitä ilmeisimmin liiallisesta putoamisesta mallissa kovalla tuulella.

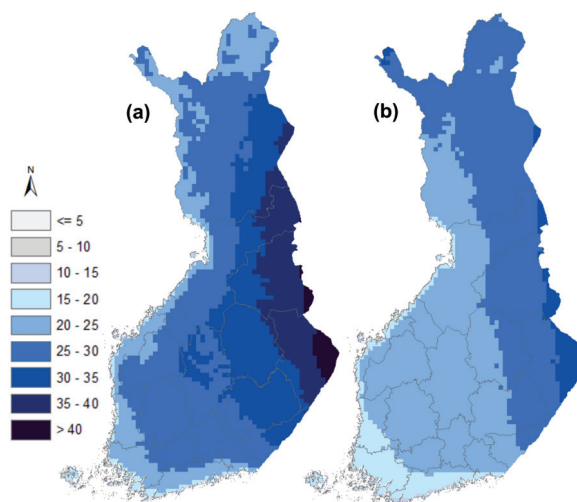
Eri lumityyppien alueellisissa jakaumissa on myös selviä eroja, vaikka kaikkien neljän tyyppin (kuiva lu-

mi, märkä lumi, jäätyneet lumi ja huurre) aiheuttamat suurimmat kuormat esiintyvätkin maan itäosissa. Kuitenkin suhteellisesti ottaen märän lumen osuus puiden lumikuormasta on yleensä suurin maan eteläosissa ja kuivan lumen pohjoisessa. Myös suurimmat märän lumen kertymät painottuvat etelämmäs kuin muiden lumityyppien. Huurretykyn merkitys korostuu erityisesti Itä-Suomen vaaraseuduilla: Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Koillismaalla. Eniten huurretta kertyy kuitenkin Lapin tuntureilla, missä malli toisaalta liiallisen tehokkaasti tuulen vaikutuksesta myös poistaa huurretta.

Lumikuormien kertymisen vuodenaikaisjakautumaa tutkittaessa alkutalvi osoittautui selvästi otollisimmaksi ajaksi tykyn nopealle kertymiselle. Pahimmat tykkytilanteet syntyvät tyypillisesti joko nopeasti märän lumen kertymisestä tai hitaammin esimerkiksi jäätyneen lumen ja vähittäisen huurren kertymisen yhteisvaikutuksesta. Märän lumen kertymätilanteita sattuu eniten sekä alku- että loppupalvesta aikana, jolloin lämpötila on tyypillisesti lähellä nollaa. Pohjois-Suomessa tämä aika on syksyllä jo lokakuussa, maan keskivaiheilla marraskuussa ja etelässä marraskuulta tammikuulle. Keskitalvella voimakkaita märän lumen kertymiä sattuu selvästi vähemmän, mutta kevättalvella jälleen hieman useammin, ei kuitenkaan niin usein kuin alkutalvella. Huurren kertymiselle otollisinta aikaa on niin ikään alkutalvi: Pohjois-Suomessa jo lokakuu ja etelässä marraskuulta tammikuulle. Toisin kuin voimakkaita märän lumen kertymätilanteita, merkittävää huurren kertymistä ei enää kevättalvella esiinny juuri ollenkaan Lapin tuntureita lukuun ottamatta.

Tutkimusjakson 1961–2010 aikana talvet ovat Suomessa keskimäärin sekä lauhtuneet että muuttuneet sateisemmiksi. Mitään selvää trendiä puiden lumikuorman suuruudessa ei tässä työssä kuitenkaan pystytty tällä jaksolla havaitsemaan. Tämä poikkeaa Gregowin ym. aiemmin tekemästä johtopäätöksestä, että tykkykuormat olisivat 1990-luvulla kasvaneet aiempaa suuremmiksi. Ero voi johtua tuulihavaintojen erilaisesta käsittelystä näissä tutkimuksissa.

Tässä työssä esitelty tykkyymalli on osoittautunut toimivaksi välineeksi tykkyvahinkojen ennustamisessa, mutta malli ei kuitenkaan ole missään nimessä täydellinen. Erityisesti huurretykyn mallintamisessa olisi vielä kehitettävää, muun muassa siksi, että kova



Kuva 1. Puiden lumikuorman (kg neliometriä kohden) suuruus, joka saavutettiin keskimäärin yhtenä päivänä vuodessa jaksolla 1961–2010 Ilmatieteen laitoksen tykkymallin mukaan (a) ja Gregowin ym. (2008) laskentamenetelmän mukaan (b). Kartat perustuvat 29 säähavaintoasemalle laskettuihin lumikuormiin ja alueellinen jakauma on saatu näistä asemakohtaisista arvoista ns. kriging-interpoloinnilla.

ja pehmeä huurre ovat ominaisuuksiltaan varsin erilaisia. Tykkymallin kunnollinen kehittäminen edellyttäisi kuitenkin perinpohjaista mittauskampanjaa. Tähän mennessä mallia on kehitetty lähinnä todellisista tykkyvahinkotilanteista saatujen kokemusten pohjalta.

Kirjallisuus

Gregow H., Puranen U., Venäläinen A., Peltola H., Kellomäki S., Schultz D. 2008. Temporal and spatial occurrence of strong winds and large snow load amounts in Finland during 1961–2000. *Silva Fennica* 42: 515–534.

■ Ilari Lehtonen, Petri Hoppula, Pentti Pirinen & Hilppa Gregow / Ilmatieteen laitos
Sähköposti ilari.lehtonen@fmi.fi

Mikko Hyppönen, Ville Hallikainen,
Pasi Rautio ja Juhani Niemelä

Pintakasvillisuuden vaikutus männyn luontaiseen uudistamiseen Koillis-Lapissa

Seloste artikkelista: Hyppönen, M., Hallikainen, V., Niemelä, J. & Rautio, P. 2013. The contradictory role of understory vegetation on the success of Scots pine regeneration. *Silva Fennica* 47(1), article id 903. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.903>

Luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä on kustannuksiltaan suhteellisen alhainen ja siksi houkutteleva vaihtoehto etenkin Pohjois-Suomessa. Huolimatta lyhyestä kasvukaudesta ja viileästä ilmastosta männyn luontainen uudistaminen onnistuu Pohjois-Suomessa yleensä hyvin. Talousmetsien uudistaminen luontaisesti vaatii yleensä jonkinasteisen maankäsittelyn siementen itämisen ja taimettumisen parantamiseksi.

Toisinaan männyn luontainen uudistaminen epäonnistuu jopa kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, jollaisilla ei yleensä ole uudistamisvaikeuksia. Uudistamistulos voi olla huono maankäsittelystä huolimatta. Maaperän ominaisuudet, kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuus, sienitaudit ja poron laidunnus voivat olla yhteydessä hitaaseen ja huonoon uudistumiseen. Tässä tutkimuksessa keskityttiin kenttä- ja pohjakerroksen kasvilajiston merkityksen selvittämiseen.

Tutkimuksessa inventoitiin viisitoista siemenpuuasentoon hakattua männikköä, jotka valittiin satunnaisesti vuosien 1986–1987 välisenä aikana Savukoskella siemenpuuasentoon hakattujen männiköiden joukosta. Inventoinnissa mitattiin ja määritettiin muuttujia metsikkö-, koeala- ja taimitasolla.

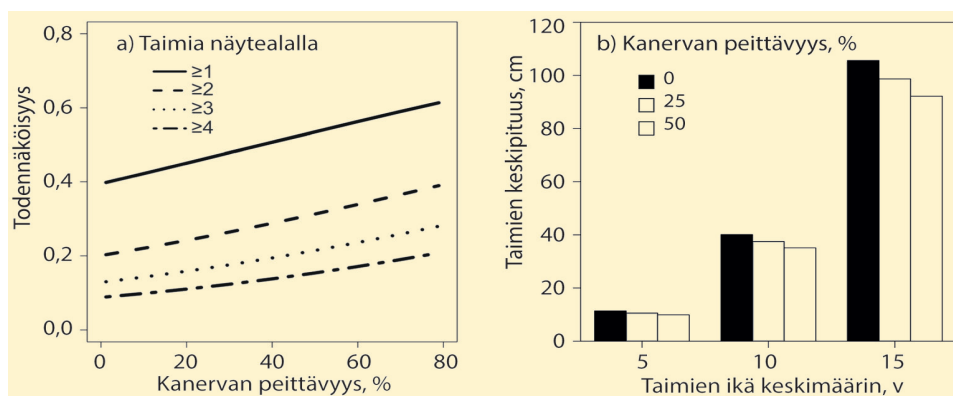
Kanerva edistää taimettumista...

Kanervan peittävyydellä oli tilastollisesti merkitsevä, positiivinen vaikutus taimettumiseen. Mallin mukaan kanervan peittävyyden lisääntyminen lisää taimettumisen todennäköisyyttä. Sammalten (muut kuin karhunsammalet) peittävyys ja paksu humuskerros vaikuttavat taimettumiseen negatiivisesti, kun taas paljastuneen mineraalimaan osuus positiivisesti. Hakkuualoille jääneen hakkuutähteen vaikutus riippuu tähteen määrästä. Mikäli hakkuutähdettä on vain vähän, ei sillä ole vaikutusta alan taimettumiseen, mutta jos hakkuutähdettä jää paljon, se vähentää selvästi taimettumista.

...mutta hidastaa taimien kasvua

Puolukan peittävyydellä oli positiivinen vaikutus taimien kasvuun, kun taas kanerva hidasti kasvua. Poronjäkälillä tai karhunsammalilla ei todettu olevan yhteyttä männyn taimien pituuskasvuun.

Tarkasteltaessa taimien kuntoa havaittiin, että noin puolet taimista oli 15 vuoden iässä joko kuolleita



Kuva 1. Kanerva edistää taimettumista, mutta hidastaa männyntaimien kasvua ja usein tappaa taimet.



Kuva 2. Savukoskella sijaitseva siemenpuuala on pahasti kanervoitunut.

tai lähes kuolleita. Mitatuista muuttujista variksenmarjalla ja jäkälillä (muut kuin poronjäkälät) oli selvästi taimien kuolleisuutta lisäävä vaikutus. Esimerkiksi 60 prosentin lisäys jäkälän peittävydessä lisää taimien kuolleisuutta noin 20 % tarkasteltaessa 15-vuotiaita taimia.

Tutkitut uudistusalat olivat taimettuneet keskimäärin huonosti, ja alojen uudistuminen oli hidasta. Männyn luontaisen uudistamisen vaikeuksien on raportoitu liittyvän mm. pohjoiseen sijaintiin, korkeisiin kasvupaikkoihin ja alhaiseen lämpösummaan, jotka vähentävät siementuottoa ja taimettumista, hidastavat kasvua ja lisäävät taimien kuolleisuutta. Koillis-Lapissa ylläkuvatut männyn luontaisen uudistamisen ongelmat ovat olleet vielä monimutkaisempia kuin keskimäärin metsänrajaseuduilla.

Osalla tässä tarkastelluista muuttujista oli positiiv-

isia ja osalla negatiivisia vaikutuksia taimettumiseen, taimien kasvuun ja kuolemiseen. Kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuuden vaikutus vaihteli riippuen kasvilajista ja siitä mitä vaihetta männyn taimien elinkaareissa tarkasteltiin. Mielenkiintoinen havainto oli se, että kanervalla oli positiivinen vaikutus taimettumiseen mutta negatiivinen vaikutus taimien kasvuun. Aikaisempien tutkimusten mukaan on mahdollista, että kanerva auttaa mäntyjen taimettumista suojelemalla taimia kuivumiselta. Tällainen ”hoitajakasvivaikutus” (*nurse-plant effect*) on klassinen esimerkki kasvilajien välisistä positiivisista vuorovaikutuksista. Kanerva saattaa myös suojella männyn taimia poron laidunnuksen aiheuttamilta mekaanisilta vaurioilta.

Voi myös olla, että välittömästi hakkuun jälkeen männyn taimet ehtivät itää ja kasvaa, ennen kuin

kanerva ehtii vallata alueen ja sitten ehkäistä voimakkaana kilpailijana taimettumista. Kun kanerva lopulta kuitenkin valtaa alaa, kilpailu männyn kanssa kovenee ja taimien kuoleminen lisääntyy. Kanervan tehokkuus kilpailijana perustuu mm. sen kykyyn tuottaa allelopaattisia, kemiallisia yhdisteitä (ns. allelokemikaaleja), jotka ovat haitallisia muille kasveille. Päätehakkuu ja maankäsittely tai lievä kuloitus eivät aina riitä kanervan taltuttamiseen, koska se valtaa nopeasti uudistusalat.

Päinvastoin kuin kanerva, puolukka edisti taimien kasvua. Tämä saattaa johtua puolukan positiivisesta vaikutuksesta karikkeen laatuun ja maaperän mikrobiaktiivisuuteen sekä maaperän mineraalitypen kulutuksesta.

Sammalten (muut kuin karhunsammalet) peittävyys ehkäisi odotetusti taimettumista. Seinäsammalen negatiivista vaikutusta männyn siementen itävyyteen ja taimien selviämiseen on selitetty sammalen vaikutuksella kosteuteen ja ravinteiden saatavuuteen sekä sen aiheuttamalla kemiallisella häirinnällä. Muissa tutkimuksissa on myös todettu, että männyn siementen itävyys, taimettuminen ja taimien kasvu paranivat, kun sammalet ja variksenmarja poistettiin. Variksenmarjan negatiivinen vaikutus männyn taimien elossa säilymiseen havaittiin myös tässä tutkimuksessa. Samansuuntainen vaikutus havaittiin myös jäkälillä. Jäkäliden on kuitenkin todettu olevan parempi kasvualusta kuin paljon samalta tai variksenmarjaa sisältävä ympäristö.

Poron laidunnus monimutkaistaa tutkimusta

Tuloksia tulkittaessa täytyy ottaa huomioon se, että poron laidunnus ja tallaus monimutkaistavat jäkäläpeitteen roolin tulkintaa. Paikoilla, joissa on paljon jäkälää, on yleensä myös kova laidunnuspaine. Laidunnus vähentää jäkäläpeitettä, mikä puolestaan muuttaa kasvillisuutta kohti sammalen, varpujen, paljaan maan ja muiden kuin porojäkäliden dominoamaa tyyppiä.

Kanervan ja sammalen lisäksi taimettumiseen vaikuttivat siemenpuuhakkuusta kulunut aika, paljastetun mineraalimaan osuus, humuksen paksuus ja hakkuutähteen määrä. Näistä kaksi ensimmäistä vaikuttivat positiivisesti, kuten voitiin odottaa aikaisempien tutkimusten perusteella, kun taas kaksi viimeistä vaikuttivat negatiivisesti. Humuskerroksen negatiivinen vaikutus on havaittu useissa tutkimuksissa.

Saadut tulokset eri tekijöiden vaikutuksista taimettumiseen, taimien kasvuun ja kuolemiseen osoittavat, että perinteiset menetelmät metsän luontaisessa uudistamisessa eivät tutkimusalueen kaltaisilla alueilla aina riitä. Kuloitus yhdistettynä maan käsittelyyn voi vähentää kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuuden aiheuttamaa kilpailua. Metla onkin aloittanut yhteistyössä Metsähallituksen, Ruotsin maatalousyliopiston (SLU) ja Sveaskogin kanssa tutkimuksen, jossa näiden toimenpiteiden vaikutusta luontaisen uudistamisen onnistumiseen selvitetään.

■ Mikko Hyppönen, Ville Hallikainen, Pasi Rautio & Juhani Niemelä, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemi
Sähköposti: mikko.hypponen@metla.fi

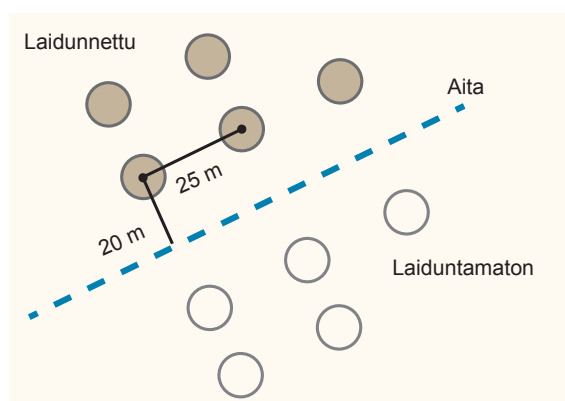
Anu Akujärvi, Ville Hallikainen,
Mikko Hyppönen, Eero Mattila,
Kari Mikkola ja Pasi Rautio

Poron laidunnuksen ja metsätalouden vaikutukset maajäkälisiin

Seloste artikkelista: Akujärvi, A., Hallikainen, V., Hyppönen, M., Mattila, E., Mikkola, K. & Rautio, P. 2014. Effects of reindeer grazing and forestry on ground lichens in Finnish Lapland. *Silva Fennica* 48(3), article id 1153. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1153>

Maan pinnalla kasvavat poronjäkälät (*Cladonia* sp.) ovat poron tärkeintä ja halutuinta talviravintoa. Maajäkälää esiintyy luontaisesti boreaalisen ja arktisen vyöhykkeen valoisissa ja harvapuustoisissa metsissä, joissa on kuiva, hyvin vettä läpäisevä maaperä. Maajäkäliden määrä runsastuu etelästä pohjoiseen. Talviravinnon määrä ja saatavuus ovat poronhoidon minimitekijöitä. Suomessa 1970-luvun lopusta alkaen valtakunnan metsien inventointien yhteydessä tehdyissä porolaiduninventoinneissa on havaittu, että maajäkäliden määrä on selvästi vähentynyt yli 30 vuoden pituisen tarkastelujakson aikana. Maajäkäliden määrään vaikuttavat luontaisten tekijöiden lisäksi poron laidunnus, metsätalous ja muu maankäyttö.

Toistaiseksi ei ole pystytty kiistattomasti osoittamaan, miten eri elinkeinot, kuten Fennoskandian pohjoisosissa tärkeät porotalous ja metsätalous, vaikuttavat poron ravintokasvien määrään. Varsinkin maajäkäliden vähenemisen syistä on kiistely. Syyt voivat olla erilaisia eri puolilla poronhoitoaluetta. Kainuussa poronhoitoalueen etelärajalla tehdyn vertailututkimuksen mukaan poronjäkäliden biomassa oli laiduntamattomalla alueella moninkertainen laidunnettuun alueeseen verrattuna. Metsän kehitysluokalla ei ollut vaikutusta tulokseen. Laidunnusta voitiin pitää suurimpana syynä poronjäkäliden vähenemiseen. Kattavia laiduninventointeja on tehty vain alueilla, joissa poronhoitoa ja metsätaloutta harjoitetaan rinnan, eikä laidunnuksen ja metsätalouden vaikutuksia maajäkäliden määrään ole voitu erottaa toisistaan. Tämän tutkimuksen tarkoituksena

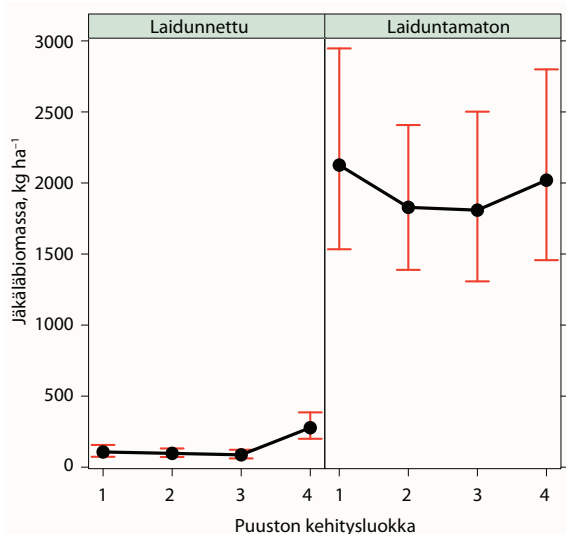


Kuva 1. Koejärjestely. Viisi koealaa sijoitettiin aidan molemmille puolille tutkittavassa metsikössä.

oli selvittää poron laidunnuksen ja metsätalouden erillis- ja yhdysvaikutuksia maajäkäliden määrään poron laitumilla.

Aineisto kerättiin kesän 2009 aikana Kuusamosta Inariin ulottuvalta alueelta. Tutkimusmetsiköt (49 kpl) sijaitsivat Suomen ja Venäjän välisellä aidatulla rajavyöhykkeellä ja erillisillä aidatuilla alueilla muualla Pohjois-Suomessa. Tutkimuskohteiden perusjoukko muodostettiin kaikista tiedossa olevista metsikoista, joista kustakin osa oli ollut aitauksen vuoksi laiduntamattomana. Aitauksesta oli kulu- nut keskimäärin 43 vuotta. Metsiköt valittiin niin kaukaa toisistaan, että niitä voitiin pitää toisistaan riippumattomina. Jokaiseen metsikköön sijoitettiin kymmenen ympyräkoelaa, viisi laiduntamattomalle (aidatulle) ja viisi laidunnetulle (aitaamattomalle) puolelle (kuva 1). Ympyräkoeloilta määritettiin puusto- ja laiduntunnuksen. Tärkeimmät arvioitavat laiduntunnuksen olivat maajäkäliden, metsälauhan ja sammalten peittävyys sekä poronjäkäliden lajikoostumus. Poronjäkäliden biomassat laskettiin jäkäliden peittävyys- ja pituusarvioiden perusteella käyttäen lajikohtaisia yhtälöitä. Laidunnuspainetta arvioitiin aitaamisen lisäksi laskemalla poron papanakasojen määrä koealoilta.

Jäkäliden peittävyyttä ja biomassaa mallinnettiin yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla, joiden aineisto muodostui kahdesta hierarkiatasosta: metsikkö ja ympyräkoela. Malleissa selittävinä muuttujina testattiin mm. laidunnusta (aitaamaton, aidattu),



Kuva 2. Maajäkälän biomassa (keskiarvo \pm 95 % luottamusvälit) laidunnetuissa ja laiduntamattomissa (eli aidatuissa) puuston eri kehitysluokkia edustavissa metsiköissä. Kehitysluokat: 1 = siemenpuualat ja taimikot, 2 = nuoret kasvatusmetsiköt, 3 = varttuneet kasvatusmetsiköt ja 4 = uudistuskypsät metsiköt.

metsikön kehitysluokkaa, latvuspeittävyttä (varjostusta), hakkuutähteiden peittävyttä sekä tärkeimpiä kasvupaikka- ja ympäristötekijöitä.

Jäkälän peittävyttä selittävässä mallissa oli kuusi tilastollisesti merkitsevää muuttujaa: laidunnus, puuston kehitysluokka, latvuspeittävyys, kasvupaikkatyypin, maalajiryhmä (lajittunut, moreeni) ja hakkuutähteiden peittävyys. Lisäksi malli sisälsi kaksi yhdysvaikutusmuuttujaa. Biomassamallissa muuttujat olivat muuten samat paitsi, että hakkuutähteiden määrän korvasi lämpösumma.

Poron laidunnus selitti merkitsevästi sekä maajäkälän peittävyttä että biomassaa: aidatuilla aloilla järkälän peittävyys (35,8 %) oli 5,3-kertainen ja biomassa (1929 kg hehtaarilla) 14,8-kertainen vastaviin aitaamattomien eli laidunnettujen alojen estimaatteihin (6,8 % ja 130 kg hehtaarilla) verrattuna. Metsätalouden vaikutus järkälämääriin oli selvästi pienempi. Aitaamattomilla aloilla järkälän peittävyys ja biomassa olivat uudistuskypsissä metsiköissä suuremmat kuin muissa kehitysluokissa. Aidatuilla aloilla puuston kehitysluokkien välillä ei ollut eroja (kuva 2).

Laidunnus vaikutti voimakkaasti maajäkälän peittävyteen ja biomassaan. Tulosten perusteella poron talvilaitumet ovat voimakkaasti kuluneita, mikä vastaa aikaisemmista porolaidunten inventoinneista ja erillistutkimuksista saatua tietoa. Se, että biomassan lisäksi myös järkälän peittävyys on vähentynyt, on poroelinkeinon kannalta hälyttävää. Järkälän peittävyden vähentymistä voidaan pitää eräänlaisena pääoman häviämisenä. Poromäärien säätely ja toimivien laidunkiertojärjestelmien kehittäminen ovatkin avainasemassa laidunten tilan parantamisessa.

■ MMM Anu Akujärvi, SYKE, Helsinki; MMT Ville Hallikainen, MMT Mikko Hyppönen, MMT Eero Mattila, FM Kari Mikkola & FT Pasi Rautio, Metla, Rovaniemi
Sähköposti mikko.hypponen@metla.fi

Anna Lintunen

Puiden latvusarkkitehtuuri – joustava design

Seloste julkaisusta: Lintunen, A. 2013. Crown architecture and its role in species interactions in mixed boreal forests. *Dissertationes Forestales* 165. 55 s. + 5 liiteartikkelia. <http://dx.doi.org/10.14214/df.165>

Joustava latvusarkkitehtuuri ja puiden väliset vuorovaikutukset

Latvusarkkitehtuuri tarkoittaa puun rakenneosien sijaintia, kokoa, muotoa ja järjestäytymistä kolmiulotteisessa tilassa. Latvusarkkitehtuuri vaihtelee paljon kasvuympäristöstä ja puun kehitysvaiheesta toiseen täyttäkseen sille asetetut tehtävät. Latvusarkkitehtuuri määrittää lehtien sijainnin kautta puun valonsaantia ja edelleen fotosynteesituotosta, ja sanelee puun sisäiset kuljetusetäisyydet ja -kustannukset. Latvusarkkitehtuuri vaikuttaa myös mikroilmastoon latvuksen eri osissa, puun alttiuteen kokea ja sietää mekaanista stressiä, kuten tuulta tai lumikuormaa, ja puun lisääntymistehokkuuteen kukkien ja hedelmien sijainnin kautta. Latvuksen mukautumiskyky ympäristön muutoksiin on tärkeä, koska puut ovat pitkäikäisiä ja paikalleen sidottuja.

Ratkaisevaa latvusarkkitehtuurin ymmärtämisessä on rakenteen ja toiminnan välinen vuorovaikutus. Puun erottaa ympäristöstään erilaiset kontaktipinnat kuten lehden kutikula ja rungon kuori. Puun elintoimintojen kannalta keskeinen kasvuresurssien hankinta tapahtuu näiden kontaktipintojen välityksellä. Puun elintoiminnot puolestaan tuottavat uutta materiaalia latvusarkkitehtuurin rakennusaineeksi.

Naapuripuuston ominaisuudet ja niissä tapahtuvat muutokset ovat olennainen osa puun kasvuympäristöä, koska naapurit kilpailevat keskenään kasvuresursseista: valosta, vedestä ja ravinteista. Tyypillinen esimerkki on valokilpailu, missä suurempi puu varjostaa pienempää, mikä johtaa varjostetussa puussa kokonaiskasvun pienenemiseen alentuneen sokerituotannon takia.

Resurssikilpailun lisäksi puut muuttavat kemiallista ja fysikaalista ympäristöään myös tavoilla, jot-

ka eivät kuluta kasvuresursseja. Tutkimukset ovat osoittaneet, että jopa ennen kilpailua fotosynteesistä aktiivisen valon määrästä, naapurit vaikuttavat taimen vastaanottaman valon aallonpituuteen lisäämällä pitkäaaltoisen punaisen valon osuutta. Tämä fotosynteesistä käyttökelpoton säteily saa aikaan muutoksia taimen rakenteessa; taimi ikään kuin valmistautuu tulevaan valokilpailuun. Naapurit vaikuttavat toisiinsa myös mekaanisesti kun tuulen vaikutuksesta puiden oksat piiskaavat naapuripuiden oksia. Tutkimukset ovat osoittaneet, että oksien sitominen paikalleen edistää naapurien kasvua. Kolmas tärkeä kommunikaatiotapa puiden välillä on kemialliset yhdisteet, pääasiassa haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden avulla naapuripuut saavat tietoa uhkaavasta hyönteistuhosta ja näin aikaansaa niissä suojausmekanismien aktivoinnin. Laboratoriokokeissa on osoitettu, että jopa silloin kun kaikki edellä mainitut kommunikointitavat on estetty, ovat puut reagoineet kasvullaan naapurien läsnäoloon äänen, magneettisen signaalin tai jonkin muun vielä tuntemattoman mekanismin avulla.

Huolimatta tästä kiehtovasta kasvien välisen kommunikaation maailmasta ja kasvaneesta mielenkiinnosta monimuotoista metsänkasvatusta kohtaan, on paljolti epäselvää miten puulaji vaikuttaa naapuripuun rakenteen muodostumiseen. Resurssikilpailua ja muita edellä mainittuja kommunikaatiosignaaleja ajatellen tuntuu selvältä, että lajityypillisellä latvusarkkiteella on vaikutusta puun naapureilleen tuottamaan kilpailuvaikutukseen.

Maastossa naapurilajin vaikutusta puiden välisessä kilpailussa on tutkittu seurantakoealoin, jolloin tutkittava selittävä muuttuja eli naapurilaji pyritään kontrolloimaan istuttamalla eri puulajisuhteita halutulla tiheydellä ja sijoittelulla. Seurantakoealoin tuotetuissa tutkimuksissa on saatu vaihtelevia tuloksia, joiden mukaan mänty-koivu-sekametsikön tuotos on joko hieman isompi tai hieman pienempi vastaavien lajien yhden puulajin metsiköihin verrattuna. Seurantakoealojen perustaminen vaatii mittavat taloudelliset ja ajalliset resurssit puuston kehittymisen viedessä kymmeniä vuosia. Vaihtoehtona on kulkea maastossa ja valita sopivia metsiköitä erilaisilla puulajisuhteilla, ja selittävien muuttujien kontrolloinnin sijaan hallita muuttujia tilastollisesti.

Perinteisesti naapurien kilpailuvaikutusta on kuvattu metsikkötason muuttujilla eli metsikön puu-

lajisuhteella, tiheydellä ja keskiarvoisella puiden koolla. Sekametsiköissä puiden järjestäytyminen on tyypillisesti epätasaista, joten yksityiskohtaisuuden lisääminen kilpailuvaikutuksen mittaamiseen tuntuisi perustellulta. Yksityiskohtaisempi kilpailuvaikutuksen arviointi edellyttää kunkin naapuripuun koon, etäisyyden ja lajin määritystä tietyllä etäisyydellä kohdepuusta. Mänty-koivu-sekametsiköiden puutason kilpailuvaikutusta ovat tutkineet Suomessa viimeaikoina mm. Sauli Valkonen ja Juha Ruuska. He havaitsivat, että naapurilaji vaikutti useaan männyn latvusominaisuuteen. Väitöskirjatyössäni tutkin edelleen puutason kilpailuvaikutusta männyn ja koivun latvusarkkitehtuuriin sekametsiköissä, kilpailuvasteen tutkimus ulottuu oksaversojen tasolle ts. oksien vuotuiseseen kasvuun.

Evolutiivisesta näkökulmasta latvuksen ulkoinen arkkitehtuuri ja sisäinen, vedenkuljetussolukon arkkitehtuuri ovat toisiinsa kytköksissä, sillä samat evolutiiviset valintaperusteet vaikuttavat molempiin. Tällaisia valintaperiaatteita ovat mm. tilan täyttävä geometria, mikä maksimoi lehtien tehokkaan toiminnan ja veden virtauksen vedenkuljetussolukon läpi. Väitöskirjatyössäni tutkin myös minkäläinen suhde on latvuksen ulkoisella ja puuaineen sisäisellä rakenteella. Hydraulista arkkitehtuuria on harvoin tutkittu koko puun tasolla aina juurista lehtiin saakka.

Työn tavoitteet ja menetelmät

Väitöskirjatyöni tavoitteena oli analysoida ja kehittää menetelmiä kuvaamaan lajien välistä vuorovaikutusta ja sen seurauksia sekametsiköissä. Tavoitteeseen päästäkseni, pyrin 1) tutkimaan männyn ja rauduskoivun latvusmuuttujien mukautumiskykyä lajien väliseen kilpailuun oksien ja oksaversojen tasolla, 2) tarkastelemaan latvusarkkitehtuurin ja puun hydraulisen arkkitehtuurin suhdetta männylle, rauduskoivulla ja kuusella, ja 3) mallintamaan männyn ja rauduskoivun kolmiulotteisen latvusarkkitehtuurin simuloitakseni valoilmastoa mänty-koivu-sekametsiköissä.

Mittasimme yhteensä yli kahdensadan 4–55-vuotiaan puun latvusrakenteen 17 tutkimusmetsiköissä. Metsiköistä 11 sijaitsi Helsingin yliopiston Hyytiälän metsäaseman ympäristössä, ja loput kuusi

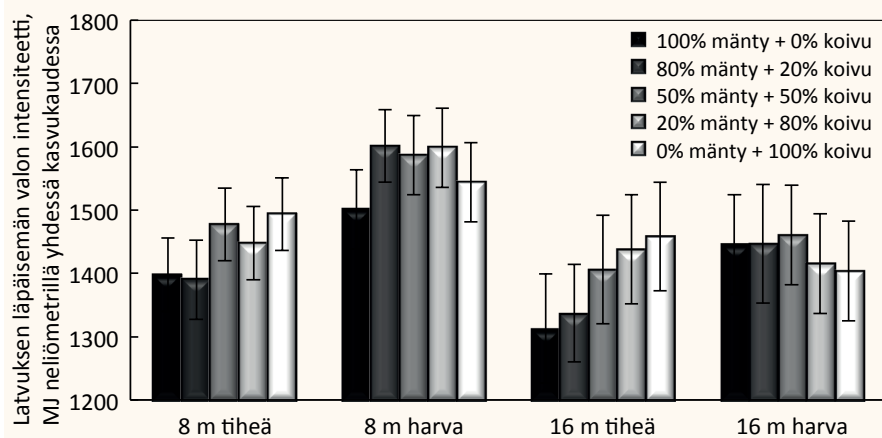
Lounais-Suomesta Pohjois-Karjalaan ulottuvalla vyöhykkeellä. Kaikki mitatut metsiköt olivat sekametsiä ja edustivat kasvupaikkatyypiltään pääasiassa MT-metsiköitä. Laaja otos oli välttämätön, jotta latvusrakennetta selittäviä muuttujia voidaan hallita tilastollisesti.

Latvus rakenne mitattiin digitoimalla. Puut pilkottiin 1.5 metriä pitkiin osiin, jotka kiinnitettiin kukin vuorollaan trukkilavalle tuulelta suojattuun paikkaan. Digitoitavaksi pystytetyn latvuksen osan ympärille luotiin sähkömagneettinen kenttä, josta tallennettiin latvuksen eri osien sijainti ja koko viemällä digitointikynä haluttuun pisteeseen latvuksessa ja tallentamalla tämän pisteen 3D-koordinaatit tietokoneelle. Digitointiaineiston perusteella puut voidaan piirtää kolmiulotteisesti. Digitoidut puut olivat pääasiassa mäntyjä ja rauduskoivuja, mutta myös muutamia kuusia digitoitiin hydraulisen arkkitehtuurin tutkimista varten.

Selvittääksemme hydraulisen arkkitehtuurin suhdetta latvusarkkitehtuuriin, mittasimme kollegani Tuomo Kalliokosken kanssa vedenkuljetussolukon anatomiaa latvuksen eri osista pienemmästä otoksesta koepuita. Näytteitä kerättiin kuudelta eri korkeudelta rungosta, minkä lisäksi näytteitä otettiin oksista ja juurista eri haarautumistasoilta.

Varsinaisten koepuiden lisäksi, tallennettiin viiden metrin säteellä olevien lähinaapureiden laji-, koko- ja sijaintitiedot kilpailuvaikutuksen määritystä varten. Jotta naapurilajin vaikutus saatiin eroteltua tilastollisesti naapurien lukumäärän, etäisyyden ja koon luomasta kilpailuintensiteetistä, kohdepuut valittiin niin, että viiden metrin säteellä olevat lähinaapurit edustivat pääasiassa yhtä puulajia: mäntyä, rauduskoivua, haapaa tai lehtikuusta.

Maastossa mitattujen latvusominaisuuksien perusteella männylle ja rauduskoivulle tehtiin latvuksen rakennemallit oksaversojen tasolla. Mallit perustuvat maastomittausten perusteella tuotettuihin yhtälöihin, jotka on esitelty julkaisussa Lintunen et al. Simulaatioiden lähtötietoina on käytetty puun pituuden lisäksi rinnankorkeusläpimittaa, latvuskorkeutta ja tietoa naapurikilpailun määrästä. Väitöskirjassani käytin näitä männyn ja koivun rakennemalleja edelleen valoilmaston simulointiin nuorissa ja varttuneissa mänty-koivu-sekametsiköissä kahdella eri puustotiheydellä. Vaihtelin 3D-metsikön puulajisuhdetta ja analysoin metsikön keskelle sijoitetun puun



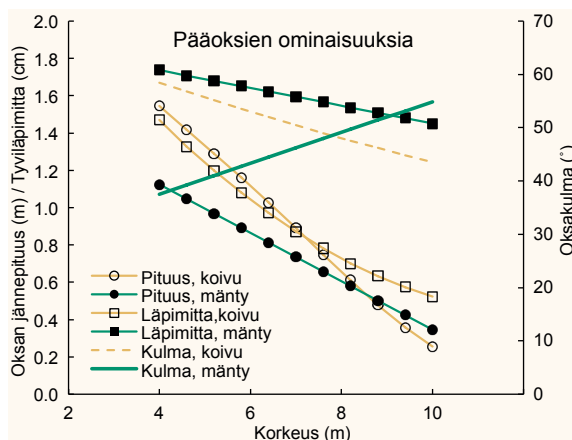
Kuva 1. Latvuston läpäisemän (fotosynteettisesti aktiivisen) valon intensiteetti esitettynä metsiköissä, joissa on erilainen puulajisuhde, ikä ja tiheys. Valon läpäisy on laskettu mallinnetun 3D-metsikön keskellä olevalle puulle, jonka itsevarjostus on jätetty huomiotta. Kukin palkki kuvastaa 10 simulaation keskiarvoa ja virhemarginaali 95% luottamusväliä.

vastaanottamaa valon määrää selvittääkseni kuinka erilaista on varjostus samankokoisten mäntyjen ja koivujen keskellä. On yleisesti tiedossa, että lajien välillä on eroja niiden latvuksen valaistusominaisuuksissa, mutta metsikkötasolla tätä lajikohtaista vaikutusta on tutkittu hyvin vähän. Muutamat olemassa olevat julkaisut osoittavat, että lajikohtaiset erot latvuksen valaistusominaisuuksissa liittyvät lajin varjonsietoon ja lehtien ryhmittymiseen latvuksessa.

Tuloksia

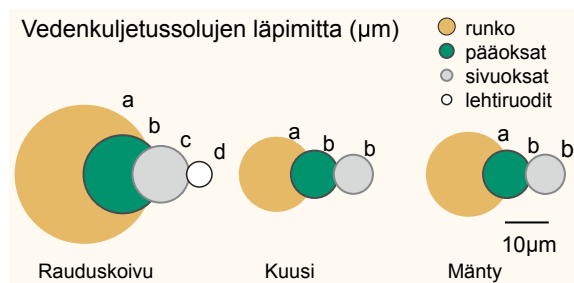
Päähypoteesini oli, että naapurien lukumäärän, koon ja sijainnin lisäksi, naapurilaji vaikuttaa puiden kasvuun ja latvusrakenteeseen. Tulosten mukaan ennustettaessa latvusrakennetta ja kasvu, naapuripuiden lajityyppillinen rakenne on otettava huomioon niiden kilpailuvaikutusta arvioitaessa.

Männyn pituuskasvu lisääntyi kilpailun vaikutuksesta silloin, kun naapurilajina oli rauduskoivu, ja rauduskoivun puolestaan kun naapurilajina oli mänty tai lehtikuusi. Läpimitan kasvuun naapurilajilla ei havaittu olevan vaikutusta. Suhteellinen kokonaiskasvu (vuotuisen oksan kasvun ja oksan kokonaispituuden suhde) oli männyllä suurin silloin, kun lähinaapurina oli lehtikuusta, ja vastaavasti



Kuva 2. Ensimmäisen haarautumistason oksien ominaisuuksia 10 m korkeassa rauduskoivussa ja männyssä. Kuva perustuu maastomittausten perusteella tuotettuihin malliyhtälöihin, jotka on esitelty julkaisussa Lintunen et al. Puiden rinnankorkeusläpimitta on 10 cm ja latvuskorkeus 4 m.

pienin silloin kun lähinaapurina oli rauduskoivua. Koivulla suhteellinen kokonaiskasvu oli suurin lajitovereiden ympäröimänä ja pienin lehtikuusten ympäröimänä. Tulosten mukaan näyttäisi siis siltä, että mänty-koivu-sekametsiköissä molempien laji-



Kuva 3. Vedenkuljetussolujen keskiläpimitta latvuksen eri osissa rauduskoivulla, kuusella ja männyllä. Havupuiden osalta tulokset koskevat vain kevätpuuta. Toisistaan poikkeavat kirjaimet osoittavat tilastollisesti merkitseviä eroja (Tukey-Kramer $p < 0.05$) kunkin lajin sisällä.

en pituuskasvu on suurempaa, mutta kokonaiskasvu pienempää kuin yhden puulajin metsikössä.

Simulaatioiden tulos osoitti, että koivikko päästää valoa läpi enemmän kuin männikkö, mutta ero on olemassa vain tiheimmissä metsiköissä (kuva 1). Todennäköisimmät rakennetekijät, jotka eroa selittävät ovat männyn suurempi neulaspinna-ala ja tiheä latvuseros latvuksen yläosassa.

Naapurilajin lisäksi, männyn ja rauduskoivun kasvuun ja latvuksen rakenteeseen vaikutti latvuskilpailun intensiteetti. Kokonaiskasvu laski molemmilla lajeilla kilpailuintensiteetin kasvaessa lukuun ottamatta nuorimpia koivuja, jotka eivät todennäköisesti kärsineet varsinaisesta resurssikilpailusta. Yksityiskohtaisemmassa tarkastelussa havaittiin lajikohtaisia eroja, nimittäin huolimatta siitä, että koivun runko kasvoi hoikemmaksi, oksia oli vähemmän ja ne olivat lyhyempiä vastena kasvaneelle kilpailulle, runkoon kohdistuva osuus biomassasta pieneni, toisin kuin männyllä.

Oksaversojen ominaisuuksien tarkastelu latvuksen eri osissa osoitti, että latvuksen yläosissa missä valoa on saatavilla enemmän, on enemmän ja pidempiä versoja kuin sen alaosissa. Männyllä myös neulaspinna kasvoi latvuksen tyveltä ylöspäin. Myös oksien esiintymistiheys kasvoi ja koko pieneni latvan tyveltä ylöspäin (kuva 2). Männyllä tyveltä ylöspäin kasvava oksatiheys johtui suuremmasta määrästä oksia per oksakiehkura, kiekuroiden välimatka samalla kasvoi.

Jotta latvus voidaan kuvata realistisesti, on huomioitava oksahaaran korkeussijainnin lisäksi ns. emo-oksan koko ja haarautumistaso. Oksaversojen lukumäärä oli koivulla sidoksissa emo-oksan kokoon, kun taas männyllä sivuhaarojen lukumäärä ei selittänyt emo-oksan koolla. Oksan pituuskasvusta vastuussa olevien versojen lukumäärä ja pituus kasvoivat molemmilla lajeilla siirryttäessä oksan päähaarasta sivuhaaroihin.

Tulokseni osoittavat, että hydraulinen arkkitehtuuri on yhteydessä ulkoiseen latvusrakenteeseen. Vedenkuljetussolujen läpimitta leveni odotetusti ylhäältä alaspäin kuljetusetäisyyden suhteen (kuva 3). Tämän lisäksi vedenkuljetussolujen koko ja tiheys muuttuivat myös muiden latvusrakennemuuttujien, kuten lehtien pinta-alan ja oksan haarautumistason seurauksena. Näyttääkin siltä, että myös vedenkuljetussolukon rakenne heijastaa joustavan latvusrakenteen välityksellä kasvuympäristön tilaa, jopa latvuskilpailua.

Kirjallisuutta

- Lintunen, A., Sievänen, R., Kaitaniemi, P. & Perttunen, J. 2011. Models of 3D crown structure for Scots pine (*Pinus sylvestris*) and silver birch (*Betula pendula*) grown in mixed forest. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 1779–1794.
- Sievänen, R., Perttunen, J., Nikinmaa, E. & Kaitaniemi, P. 2008. Toward extension of a single tree functional-structural model of Scots pine to stand level: effect of the canopy of randomly distributed, identical trees on development of tree structure. *Functional Plant Biology* 35: 964–975.
- Rouvinen, S. & Kuuluvainen, T. 1997. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 890–902. <http://dx.doi.org/10.1139/x97-012>
- Valkonen, S. & Ruuska, J. 2003. Effect of *Betula pendula* admixture on tree growth and branch diameter in young *Pinus sylvestris* stands in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 416–426.

■ FT Anna Lintunen, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Sähköposti anna.lintunen@helsinki.fi