



Juha Siitonen



Antti Pouttu

Juha Siitonen ja Antti Pouttu

Kirjanpainajatuhot Rörstrandin vanhojen metsien suojelualueella sekä ympäröivissä talousmetsissä Sipoossa

Siitonen, J. & Pouttu, A. 2014. Kirjanpainajatuhot Rörstrandin vanhojen metsien suojelualueella sekä ympäröivissä talousmetsissä Sipoossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2014: 183–193.

Tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida yhden esimerkkitapauksen avulla todennäköisyyttä sille, että suojelualueelta olisi levinnyt kirjanpainajan aiheuttamia tuhoja ympäröivään talousmetsään. Lisäksi tarkasteltiin tekijöitä, joiden perusteella leviämistodennäköisyyttä voidaan arvioida. Metsätuholaki sisältää säädöksiä maanomistajan korvausvelvollisuudesta tällaisissa tilanteissa. Rörstrandin suojelualueelle perustettiin systemaattinen ympyräkoealaverkko, jolta mitattiin neljän edellisen vuoden (2010–2013) aikana kuolleiden kuusten määrä, tuhoniheuttajat ja kuolleisuuden ajoittuminen. Puuston kuolleisuuden ajoittumisen selvittämisessä pystyttiin lisäksi hyödyntämään alueelle aiemmin vuonna 2002 perustettua pysyvää 4 ha koealaa. Kirjanpainajatuhojen kehittymistä Rörstrandin alueella verrattiin 49 varttuneeseen kuusikkoon Uudenmaan alueella. Tulosten perusteella ei ole todennäköistä, että tuhot olisivat levinneet suojelualueelta naapurimetsään. Tuhot ovat alkaneet hellekesänä 2010 samaan aikaan monissa eri paikoissa Uudellamaalla vanhoissa kuusikoissa, ja tuhot ovat ajoittuneet samalla tavoin kuin Rörstrandin alueella. Rörstrandissa ei havaittu korkeaa kirjanpainajakantaa (runsasti äskettäin pystyyn kuolleita kuusia) puustomittauksissa 2002 eikä 2008. Elävän puuston mittaukset 2009 ja 2013 osoittavat, että valtaosa kuusten kuolleisuudesta on sattunut välillä 2010–2013 eli samaan aikaan kuin ympäröivissä talousmetsissäkin alkaneet tuhot, ei ennen niitä. Tutkimuksessa kuvattuja menetelmiä voidaan käyttää kirjanpainajan tappamien kuusten kuolinajan määrittämisessä.

Asiasanat: *Ips typographus*, kirjanpainaja, metsälaki, puuston kuolleisuus, seuraustuhot

Yhteystiedot: Metla, Vantaa

Sähköposti juha.siitonen@metla.fi; antti.pouttu@metla.fi

Hyväksytty 18.9.2014

Saatavana <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff14/ff143183.pdf>

I Johdanto

Kirjanpainaja (*Ips typographus* L.) on Euroopan alueella kuusen (*Picea abies* L.) merkittävin tuholainen. Kirjanpainaja on aiheuttanut Keski-Euroopassa ajoittaisia laajoja tuhoepidemioita, joissa puita on kuollut miljoonia kuutiometrejä muutamien peräkkäisten vuosien aikana (Grégoire ja Evans 2004). Fennoskandian alueella laajoja tuhoja on esiintynyt sekä Ruotsin että Norjan eteläosissa. Esimerkiksi Gudrun-myrskyyn 2005 jälkeen alkaneen tuhoepidemian aikana kirjanpainajan arvioidaan tappaneen Ruotsissa noin 3,5 miljoonaa kuutiometriä puita (Öhrn ym. 2014). Kirjanpainajaepidemioiden ovat usein lähteneet liikkeelle myrskytuhojen seurauksena, jolloin kirjanpainajakanta on päässyt kasvamaan kaatuneissa puissa ja myrsky on saattanut lisäksi vaurioittaa pystyssä pysyneiden puiden juuristoja tehden niistä alttiimpia seuraustuhoille. Tuhojen käynnistymiseen ja kehittymiseen vaikuttavat hyvin paljon myös säätekijät. Tuhoja esiintyy erityisesti kuumina ja kuivina kesinä, jotka ovat edullisia kirjanpainajan lisääntymiselle ja toisaalta stressaavat isäntäpuita. Suomen itäpuolella Arkangelin alueella noin miljoonan hehtaarin kuusimetsäalueella yli 20% puista kuoli vuosien 1999–2004 välillä, ja suurin osa puista oli kirjanpainajan tappamia. Tuhojen todennäköisenä alkusyyinä oli ankara kuivuus 2000-luvun alussa (Aakala ym. 2011).

Suomessa on toistaiseksi vältytty laajoilta kirjanpainajaepidemioidelta. Tämä johtuu paljolti maamme pohjoisesta sijainnista ja ilmastotekijöistä. Kirjanpainaja ei Suomessa sääoloiltaan tavanomaisena kesänä pysty tuottamaan kuin yhden sukupolven, kun jo Etelä-Ruotsissa lämpösummaa kertyy kasvukauden aikana niin paljon, että kirjanpainajalla on säännöllisesti toinen sukupolvi (Öhrn ym. 2014). Myös kaatuneiden puiden nopea korjuu myrskytuhojen jälkeen on osaltaan voinut ehkäistä seuraustuhojen syntymistä. Tähän mennessä laajimmat dokumentoidut kirjanpainajatuhot Suomessa tapahtuivat Soanlahdella, luovutetun Karjalan alueella, jossa vuonna 1911 sattuneen myrskytuhojen jälkeen arvioitiin kuolleen noin 90 000 kuutiometriä kuusia pääasiassa kirjanpainajan takia (Saalas 1919).

Viime vuosina kirjanpainajatuhoja on havaittu Etelä-Suomessa enenevässä määrin (Metsätuhola-

kityöryhmän muistio 2012). Syytä kirjanpainajatuhojen lisääntymiseen voivat olla sekä säätekijät että tuulituhot. Kesä 2010 oli poikkeuksellisen kuuma ja kuiva, ja kirjanpainajalla havaittiin ensimmäistä kertaa maassamme toinen sukupolvi, joka iskeytyi puihin heinäkuun lopussa (Pouttu ja Annila 2010). Etelä-Suomessa on viime vuosina sattunut useita laajoja tuulituhoja. Heinäkuun lopun myrskyt 2010 kaatoivat yhteensä noin 8,1 miljoonaa kuutiometriä puita (Viiri ym. 2011). Tapaninpäivän myrsky joulukuussa 2011 kaatoi 3,5 miljoonaa kuutiometriä, josta arviolta lähes miljoona kuutiometriä jäi korjaamatta (valmiuspäällikkö Yrjö Niskanen, Suomen metsäkeskus, suullinen tiedonanto). Vaikka tuulituhopuut saataisiinkin suurimmaksi osaksi korjattua, jää myrskyjen jäljiltä metsään aina sekä kaatunutta puustoa että vaurioitunutta elävää puustoa. Tuulituhojen ja niiden korjuun seurauksena uudistuskypsyihin metsiin syntyy runsaasti uusia metsänreunoja, joissa puut ovat alttiimpia kirjanpainajatuhoille.

Lisääntyneet tuulituhot, entistä lämpimämmät kesät sekä näiden seurauksena kaarnakuoriaisten ja muiden hyönteisten aiheuttamat seuraustuhot ovat ilmiöitä, joiden on ennustettu lisääntyvän ilmastomuutoksen takia (Logan ym. 2003, Rebetez ja Dobbertin 2004, Jönsson ym. 2009). Lisääntyneeseen seuraustuhoriskiin on pyritty varautumaan myös lainsäädännön keinoin. Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta (8.2.1991/263) on äskettäin uudistettu, ja uusi metsätuholaki (20.12.2013/1087) astui voimaan vuoden 2014 alusta. Metsätuholain tarkoituksena on metsien hyvän terveydentilan ylläpitäminen ja metsätuhojen torjuminen. Sekä vanhassa että uudessa laissa on säädöksiä, jotka koskevat maanomistajan velvollisuutta korjata metsästä vahingoittuneet puut silloin, kun niiden määrä ylittää säädetyt kynnsarvot. Tällä pyritään ehkäisemään kaarnakuoriaisten aiheuttamia seuraustuhoja. Metsätuholaissa säädetään maanomistajan korvausvelvollisuudesta siinä tapauksessa, että maanomistaja on laiminlyönyt velvollisuutensa korjata kynnsarvon ylittävän määrän vahingoittuneita puita ja niissä lisääntyneet metsätuholaiset leviävät naapurin metsään aiheuttaen siellä tuhoja. Mikäli tuhot leviävät yksityisen maanomistajan metsästä toisen maanomistajan metsään, korvausvelvollisuus syntyy kuitenkin vasta silloin, kun puuston kuolleisuus tai kasvutappiot ylittävät tietyt, laissa määri-

tellyt kynnsarvot. Mikäli tuhot leviävät luonnonsuojelulain perusteella rauhoitetulta suojelualueelta toisen maanomistajan metsään, valtio on korvausvelvollinen. Tällaisessa tapauksessa vahingoille ei ole säädetty kynnsarvoja, vaan periaatteessa kaikki vahingot korvataan.

Niiden noin 20 vuoden aikana (1991–2013), jolloin laki metsän sieni- ja hyönteistuhojen torjunnasta oli voimassa, ei luonnonsuojelualueelta levinneitä tuhoja jouduttu korvaamaan valtion varoista kertaakaan (Metsätuholakityöryhmän muistio 2012). Mikäli kirjanpainajan aiheuttamat tuhot muuttuvat kroonisiksi ja mahdollisesti edelleen lisääntyvät, arvioitavaksi tulee aiempaa enemmän tapauksia, joissa tuhojen epäillään levinneen suojelualueelta tai naapurin metsästä. Metsätuholain valvonnasta vastaavat viranomaiset (Suomen metsäkeskus ja sen alueyksiköt) joutuvat tällöin ottamaan kantaa siihen, millaiseen näyttöön korvaushakemus voi perustua.

Uuden metsätuholain perusteluissa on linjattu aiempaa tarkemmin sitä, millaisissa tapauksissa ja minkälaisen näytön perustella valtion korvausvelvollisuus suojelualueelta levinneestä tuhosta voisi toteutua. Ensinnäkin suojelualueen häiriön ja lähimetsässä sattuneen seuraustuhon välillä tulisi olla todennäköinen syy-yhteys. Talousmetsässä on siten oltava saman tuhonaiheuttajan tuhoja kuin luonnonsuojelualueellakin on, tai talousmetsien tuhojen on oltava seuraustuhoja, joita luonnonsuojelualueella esiintyvä tuholainen aiheuttaa. Korvauksen saaminen edellyttäisi myös, että eri alueilla aiheutuneet tuhot olisivat syntyneet oikeassa järjestyksessä. Pääsääntöisesti tuhojen olisi esiinnyttävä suojelualueen välittömässä läheisyydessä, mutta arvioitaessa tuhojen etäisyyttä luonnonsuojelualueen ja talousmetsän välillä olisi huomioitava myös tuhonaiheuttajan potentiaali siirtyä paikasta toiseen sekä tuhojen poikkeuksellisuus paikallisiin olosuhteisiin nähden. Lisäksi syy-yhteyden todennäköisyyttä arvioitaessa tulisi kiinnittää huomiota vahingon laatuun ja vahingon mahdollisiin muihin syihin. Tämä voisi merkitä esimerkiksi sen arvioimista, miten tyypillisiä vastaavat metsätuhot ovat kyseessä olevan alueen läheisyydessä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida yhden esimerkkitapauksen avulla todennäköisyyttä sille, että suojelualueelta olisi levinnyt metsätuhoja ympäröivään talousmetsään. Tapaustudkimus kos-

kee kirjanpainajan aiheuttamia tuhoja Rörstrandin vanhojen metsien suojelualueella ja ympäröivissä talousmetsissä Sipoossa. Rörstrandin suojelualue on sikäli poikkeuksellinen, että alueella on ollut entuudestaan Metsäntutkimuslaitoksen laaja metsikkökoela, jolta elävä ja kuollut puusto on mitattu useaan kertaan vuosien 2002 ja 2013 välillä, mikä mahdollistaa puuston kuolleisuuden kehittymisen seurannan pitemmällä aikavälillä. Tämän tapaustudkimuksen avulla on mahdollista yleisemmällä tasolla havainnollistaa ja arvioida sitä, minkälaisiin havaintoihin, aineistoihin ja johtopäätöksiin tuhojen leviämisen arviointi voi perustua.

Arvioinnissa pyrittiin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin: 1) Mitkä ovat kuusten kuolleisuuden aiheuttajat ja ajoittuminen Rörstrandin alueella? 2) Mitkä ovat kuusten kuolleisuuden aiheuttajat ja ajoittuminen ympäröivissä talousmetsissä? 3) Mikä on tuhometsiköiden etäisyys suojelualueesta ja puuston kunto sekä ikä tuhojen alkaessa? Lisäksi hyödynnettiin toista tutkimusaineistoa vertailuaineistona, josta saatiin tietoa kuusten kuolleisuudesta ja sen ajoittumisesta laajemmin Uudenmaan alueella. Vertailuaineiston avulla tavoitteena oli vastata kysymykseen, 4) kuinka tyypillisiä kohdemetsikön kaltaiset tuhot ovat olleet samana aikana muualla Uudenmaan alueella.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusalue

Rörstrandin Natura-alue sijaitsee Sipoossa Uudellamaalla. Alueen kokonaispinta-ala on 287 hehtaaria, ja se koostuu 1990-luvulla perustetusta noin 100 hehtaarin vanhan metsän suojelualueesta alueen luoteisosassa sekä 2002 siihen liitetyistä Bastmossenin täydennysosasta. Tutkimuskohteena olivat alkupe räisen vanhan metsän suojelualue sekä sen pohjoispuolella sijaitsevat kolme talousmetsäkuviota.

Taulukko 1. Kuusten kuolinvuosien arvioinnissa käytetyt tuntomerkit.

Kuolinvuosi / aika kuolemasta	Tuntomerkit
2013 / 0	Samana kesänä kuolleet puut. Kesäkuussa: Puut äskettäin kirjanpainajan valtaamia, runsaasti kirjanpainajan purukasoja pitkin runkoa. Elokuussa: Neulaset usein jo kokonaan karisseet, joissain puissa kuitenkin vielä kellanvihreitä neulasia jäljellä. Myös kuori rungon yläosasta usein irronnut, tällöin rungon pinnalla jäljellä runsaasti ruskeaa purua kirjanpainajan käytävistä. Rungon tyvellä kuoren alla vaaleanruskeita saman kesän kirjanpainaja-aikuisia, kuusijäärän (<i>Tetropium</i> sp.) toukkia, muurahaiskuoriaisen (<i>Thanosimus formicarius</i> L.) toukkia sekä pieniä havukantojäärän (<i>Rhagium inquisitor</i> L.) toukkia.
2012 / 1	Edellisenä kesänä kuolleet puut. Kesäkuussa: Kuoreton runko ruskehtava, puruja jäljellä. Ei neulasia, mutta latvuksen yleissävy ruskehtava, kasvaimet eivät karisseet. Talven aikana hangelle varissee kuoret puun tyvellä kuohkeana kasana. Rungon tyvellä talvehtineita muurahaiskuoriaisen toukkia sekä pintapuun sisällä talvehtineita kuusijäärän toukkia. Elokuussa: Kuten kesäkuussa, mutta purut pääosin huuhtoutuneet pois, rungon tyvellä muurahaiskuoriaisen toukkia ja isoja, koteloitumaan valmiita havukantojäärän toukkia.
2011 / 2	Kesäkuussa ja elokuussa: Kuoreton runko harmahtava, purut huuhtoutuneet kokonaan pois. Latvuksen yleissävy harmahtava, kasvaimista suuri osa jäljellä. Kuoret puun tyvellä edellisen talven lumien tiivistämänä kasana, josta kasvillisuus työntyy läpi. Rungon tyvellä ei koskaan muurahaiskuoriaisen eikä kuusijäärän toukkia, usein kuitenkin havukantojäärän vastakuoriutuneita aikuisia.
2010 / 3	Kesäkuussa ja elokuussa: Kuoreton runko harmaa. Latvuksen yleissävy harmaa, kasvaimista karissut suuri osa pois. Kuorikasa rungon tyvellä suureksi osaksi kasvillisuuden valtaama.
-2009 / 4 tai enemmän	Viimeisen vuoden kasvaimet (usein 4-kertaluokan oksia) karisseet kokonaan pois, korkeintaan näitä paksumpia 3-kertaluokan oksia jäljellä. Vanhemmissa puissa enää 2- tai 1-kertaluokan oksia jäljellä. Kuorikasa rungon tyveltä hävinnyt yleensä näkymättömiin.

2.2 Kuusten kuolleisuuden kartoitus Rörstrandin alueella

Rörstrandin alueelle perustettiin systemaattinen ympyräkoelaverkosto. Pinta-alaltaan 500 m² (säde = 12,62 m) ympyräkoelalat sijoitettiin 100 m välein itä-länsisuunnassa kulkeville linjoille 100 m päähän toisistaan. Suojelualan eteläpäässä (800 metriä alueen pohjoisreunasta ja yli kilometrin päässä epäilystä tuhokohteesta) otantaa harvennettiin niin, että itä-länsisuunnassa koelajien väli oli 200 metriä. Ympyräkoelajoja mitattiin yhteensä 62 kappaletta, ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala oli siten 3,1 hehtaaria. Maastotyöt tehtiin vuonna 2013 kahdessa jaksossa, ensimmäinen jakso toukokuun lopussa ja kesäkuun alussa sekä toinen jakso elokuun lopussa.

Koelajoilta mitattiin kaikista neljän edellisen vuoden aikana (2010–2013) kuolleista tai kuolevista kuusista seuraavat tunnuksat: 1) läpimitta, 2) laatu valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) lahoppu- mittausten kanssa yhdenmukaisella luokituksella

(kokonaiset pystyyn kuolleet puut, pötkelöt, juurineen kaatuneet puut, katkenneet puut, hakkuukan- not, pöllit, hakkuutähdelatvukset), 3) puun kuolin- syyt (pääasialliset tuhohyönteislajit, muut syyt), 4) arvioitu kuolinvuosi. Kuolinajan ajoittaminen onnistui hyvin luotettavasti samana kesänä (2013), varsin luotettavasti edellisenä kesänä (2012) kuolleista puista, ja hiukan epävarmemmin sitä aiemmin (2011 tai 2010) kuolleista puista. Kuolinajan ajoittaminen perustui vastakuolleissa puissa alkukesällä puuhun iskeytyneiden kirjanpainajien purukasoihin ja lop- pukesällä vastakuoriutuneisiin kirjanpainaja-aikui- siin, seuralaislajistoon (mm. muurahaiskuoriaisten toukkien, kuusijäärien toukkien ja havukantojäärän toukkien esiintymiseen), kuoren irtoamiseen, puun tyvellä olevien kuorikasojen painumiseen ja niiden läpi kasvavaan kasvillisuuteen, rungon harmaantu- miseen sekä viimeisen vuoden kasvainten ja muiden oksakertojen varisemiseen (taulukko 1, kuva 1).

Puustoaineistosta laskettiin kuolleiden kuusten kokonaiskappalemäärä ja hehtaarikohtainen kap-



Kuva 1. Kirjanpajajan edellisenä kesänä tappamia puita kesäkuun alussa. Talvella hangelle varisseet kuoret ovat rungon tyvellä kuohkeana kasana, ja rungoilla on edelleen jäljellä ruskeaa purua kirjanpajajan käytävistä. Seuraavana kesänä purut ovat huuhtoutuneet pois, rungon sävy on muuttunut harmahtavaksi, ja tyvellä oleva kuorikasa on edellisen talven hangen tiivistämä.

palemäärä, kirjanpajajan tappamien puiden osuus mittausjaksolla kuolleista puista, kirjanpajajan tappamien puiden kuolleisuuden ajoittuminen eri vuosina kuolleiden puiden kappalemäärien perusteella sekä kirjanpajajapuiden tilavuus hehtaaria kohti. Kuusten tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) rinnankorkeuslähimittaan ja pituuteen perustuvalta tilavuusyhtälöllä. Pituuskäyrä puille laskettiin Näslundin yhtälön ja Rörstrandin alueelta mitatun pituuskoepuuaineiston avulla (ks. seuraava luku).

2.3 Aiemmat puuston mittaukset Rörstrandin alueella

Rörstrandin vanhan metsän aluetta on hyödynnetty 1990-luvulta lähtien useissa Metlan tutkimuksissa. Vuonna 2002 alueen keskelle vanhaan kuusivaltaiseen metsään perustettiin 4 hehtaarin (200 m × 200 m) kokoinen metsikkökoeala kääpätutkimuksia varten. Koeala jaettiin 25 m × 25 m soluihin. Koko 4 hehtaarin alueelta mitattiin kaikki vähintään 10 cm läpimittaiset kuolleet puut. Kuolleista puista mitattiin

puulaji, läpimitta, laatu valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) lahoppumittausten kanssa yhdenmukaisella luokituksella (kokonaiset pystyyn kuolleet puut, pötkelöt, juurineen kaatuneet puut, katkenneet puut, hakkuukannot, pöllit, hakkuutähdelatvukset) sekä lahoaste VMI:n kanssa yhdenmukaisella luokituksella (lahoasteet 1–5). Lahoaste 1 jaettiin kahteen luokkaan, joista lahoasteeseen 1A luokiteltiin edellisen vuoden aikana kuolleeksi arvioidut puut ja luokkaan 1B kovat mutta yli vuosi sitten kuolleet puut. Puustomittaukset tehtiin syksyllä 2002.

Vuoden 2002 mittauksista laskettiin seuraavat tunnuks: 1) edellisen vuoden aikana pystyyn kuolleiden kuusten (edellisen kesän aikana kirjanpainajan tai muiden tuhonaiheuttajien tappamia puita) keskimääräinen kappalemäärä hehtaarilla, 2) kaikkien tätä vanhempien pystyyn kuolleiden kuusten keskimääräinen kappalemäärä hehtaarilla (kirjanpainajan ja muiden puita pystyyn kuivattavien tuhonaiheuttajien aiheuttama kuolleisuus useiden edellisten vuosien aikana) sekä 3) edellisen vuoden aikana tuulen kaatamien (laatu 3) tai lahon ja tuulen murtamien (laatu 4) kuusten keskimääräinen kappalemäärä hehtaarilla (kirjanpainajan lisääntymismateriaaliksi sopivien tuoreiden kaatuneiden puiden määrää alueella vuonna 2002).

Rörstrandin 4 hehtaarin koeala mitattiin uudestaan toisen hankkeen yhteydessä vuosina 2008/2009 sekä vuonna 2013. Vuonna 2008 mitattiin kuolleet puut koko alueelta käyttäen samoja luokituksia kuin edellisessäkin mittauksessa. Tästä aineistosta laskettiin samat tunnuksut kuin edellisestäkin kuolleen puuston mittauksesta.

Vuonna 2009 syksyllä mitattiin kaikki vähintään 1,3 metrin mittaiset elävät puut koko koealalta. Puita mitattiin rinnankorkeusläpimittaa ja pituus. Vuonna 2013 syksyllä mitattiin edellisen mittauksen jälkeen eli vuosina 2010–2013 kuolleet puut.

2.4 Havainnot ja mittaukset suojelualueen läheisissä talousmetsissä

Tuhon kohteena olleet kolme talousmetsäkuviota oli hakattu 2012 elokuussa, joten niistä ei voitu selvittää puuston kuolleisuuden ajoittumista. Tiedot tuhojen esiintymisestä näillä kuvioilla saatiin paikallisen metsänhoitoyhdistyksen edustajalta suullisesti ja

sähköpostitse. Tuhometsiköiden etäisyys suojelualueesta mitattiin kuviokartoilta.

Tuhokohteelta sahattiin kannoista kiekkoja puiden iän määrittämiseksi 17.12.2013. Kiekkoja otettiin kolmelta kuviolta neljä kultakin, yhteensä siis 12 kiekkoa. Näistä laskettiin puiden ikä kannon korkeudelta, ja kantoikään tehtiin konservatiivinen 10 vuoden ikälisäys. Tutkimusten mukaan luontaisesti syntyneissä kuusikoissa Etelä-Suomessa kuusentaimilta kestää 13–16 vuotta saavuttaa 15–30 cm pituus (Saksa ja Valkonen 2011).

Noin kahden kilometrin etäisyydellä Rörstrandin alueen eteläpuolella oli säilynyt yksi talousmetsäkuvio, jolla oli runsaasti kirjanpainajatuhoja, ja jota kesäkuussa 2013 ei ollut vielä hakattu (metsikkö uudistushakattiin elokuun alussa 2013). Tältä talousmetsäkuviolta mitattiin yhdeltä linjalta 100 metrin välein viisi 500 m² ympyräkoelaa, yhteensä siis 0,25 hehtaaria. Ympyräkoeloilta mitattiin kaikki neljän edellisen vuoden aikana (2010–2013) kuolleet kuuset samalla tavoin kuin Rörstrandissa. Lisäksi kuusten kuolleisuuden ajoittumisesta tehtiin havainnot koko kuviolta.

2.5 Kirjanpainajatuhojen esiintyminen Uudenmaan vanhoissa kuusikoissa

Kirjanpainajatuhojen esiintymistä kartoitettiin toisessa Metlan hankkeessa kesällä 2013 sekä METSO-ohjelmaan kuuluvalta uusilta suojelualueilta (ympäristötukikohteita, yksityisiä suojelualueita tai valtiolle hankittuja alueita) että satunnaisesti valituista varttuneista talousmetsäkuusikoista. Kohteet sijaitsivat Rannikon ja Häme-Uusimaan metsäkeskuksen alueyksiköiden alueella, entisen Uudenmaan läänin alueella. Tutkittuja kohteita oli yhteensä 49 kappaletta (25 suojelualueita, 24 talousmetsää), ja niissä kartoitettu ala oli yhteensä vähän yli 100 hehtaaria. Kaikki tutkitut kuviot olivat tuoreen tai lehtomaisen kankaan kuusivaltaisista, vähintään 80-vuotiaita metsiköitä.

Kohteilta mitattiin neljän edellisen vuoden aikana (2010–2013) kuolleet kuuset täsmälleen samoilla menetelmillä ja luokituksilla kuin Rörstrandin suojelualueelta. Aineiston perusteella laskettiin, millä tavoin kirjanpainajan aiheuttama kuusten kuolleisuus on ajoittunut laajemmin Uudenmaan alueella.

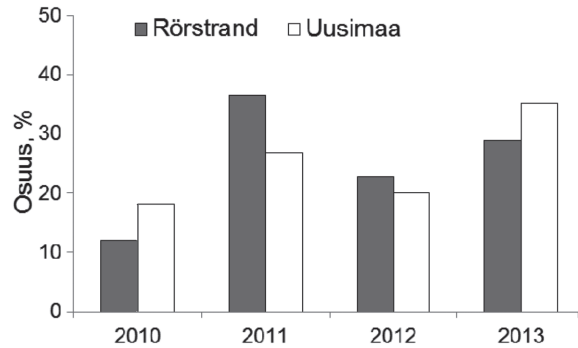
3 Tulokset

3.1 Kuusten kuolleisuus ja kirjanpajatuhojen ajoittuminen Rörstrandissa

Tarkastelemme aluksi puuston kuolleisuutta Rörstrandin suojelualueella 2000-luvulla 4 hehtaarin koealalta vuosina 2002, 2008, 2009 ja 2013 tehtyjen puustomittausten perusteella. Pystyyn kuolleita, vähintään 10 cm läpimittaisia kuusia oli koealalla yhteensä 193 vuonna 2002 (keskimäärin 48 puuta hehtaaria kohti). Näistä samana vuonna pystyyn kuolleita puuta oli 13. Samana vuonna kaatuneita, tuoreita maapuita oli 21 kappaletta. Vastaavasti pystyyn kuolleita, vähintään 10 cm läpimittaisia kuusia oli koealalla yhteensä 281 vuonna 2008 (keskimäärin 70 puuta hehtaaria kohti). Näistä samana vuonna pystyyn kuolleita puuta oli kolme kappaletta. Samana vuonna kaatuneita, tuoreita maapuita oli vain yksi kappale.

Vuonna 2009 eläviä, vähintään 10 cm läpimittaisia kuusia mitattiin koealalta yhteensä 1912 (keskimäärin 478 puuta hehtaaria kohti). Vuoden 2013 syksyyn mennessä puiden kokonaismäärä oli pienentynyt 1452 puuhun (keskimäärin 363 puuta hehtaaria kohti). Vastaavasti keskimääräinen vuotuinen kuolleisuus jaksolla 2010–2013 oli 29 puuta hehtaaria ja vuotta kohti.

Rörstrandin koko suojelualan kattavilta ympyräkoeloilta mitattiin kesällä 2013 kaikkiaan 189 jaksolla 2010–2013 kuollutta kuusta, joista 159 (84 %) oli kirjanpajajien valtaamia ja siten todennäköisesti niiden tappamia. Lopuista pystyyn kuolleista puista 9 % oli monikirjaajan (*Polygraphus poligraphus* L.) ja 3 % kuusijäärien (*Tetropium* spp.) tappamia. Lähes kaikissa kirjanpajajien valtaamissa puissa esiintyi myös kuusijääriä tyvellä yleensä noin metrin korkeudelle asti. Hehtaarilla oli keskimäärin 58 tarkastelujaksolla kuollutta kuusta, joista 50 oli kirjanpajajien tappamia. Keskimääräinen vuotuinen kuolleisuus koko Rörstrandin alueella jaksolla 2010–2013 oli siten 19 puuta hehtaaria ja vuotta kohti. Kirjanpajajien tappamien kuusten keskimääräinen tilavuus koko mitatulla alueella (jossa osa koealaympyröistä sattui lehtipuuvaltaisiin, mäntyvaltaisiin tai nuoriin metsiin) oli 48 m³/ha. Pelkästään vanhat kuusivaltaiset kuviot huomi-



Kuva 2. Kirjanpajatuhojen ajoittuminen Rörstrandin suojelualueella ympyräkoelajien mittausten mukaan ja vanhoissa kuusikoissa Uudellamaalla 2010–2013. Kuvassa y-akselilla on eri vuosina kuolleiden puiden osuus.

oon ottaen (45 koealaa) kirjanpajajien tappamien kuusten keskitilavuus oli 66 m³/ha (keskiarvon keskivirhe = 12 m³/ha). Neljän edellisen vuoden aikana kuolleista kuusista 4 % oli kaatuneita tai katkenneita ja 96 % pystypuita. Kirjanpajajien aiheuttama puuston kuolleisuus oli alkanut 2010, oli korkeimmillaan 2011, laski hiukan 2012 ja lisääntyi uudestaan 2013 (kuva 2).

3.2 Kirjanpajatuhojen ajoittuminen läheisissä talousmetsissä ja metsiköiden laatu

Maanomistaja oli havainnut pystyyn kuivuneita kuusia tuhohteella jo vuosina 2010 ja 2011. Pystyyn kuivuneet puut oli kumpanakin vuonna poistettu. Vuonna 2012 kuivuneita puuta havaittiin niin paljon, että kolme vierekkäistä metsikkökuviota, yhteensä noin 3 hehtaarin alue, päätettiin päätehakata. Hakuuukoneen tuottamien mittaustietojen perusteella pystyyn kuivuneita kuusia poistettiin tällöin yhteensä 195 m³. Päätehakkuu tehtiin elokuussa.

Läheinen talousmetsä sijaitsee suojelualan pohjoispuolella. Välissä tai vieressä on männyn siemenpuumetsikkö ja nuori (noin 40 v.) kuusikko, jossa on yksittäisiä kuolleita kuusia. Etäisyys päätehakattujen kuvioiden reunasta suojelualan lähimpään reunaan on 240–280 metriä. Etäisyys suojelualan ja talousmetsän lähimpien tuhopesäkkeiden välillä on hiukan tätä suurempi. Hakuuukoilta laskettujen

kantojen iät vaihtelivat 93 ja 147 vuoden välillä. Kuvioiden valtapuuston keski-iat olivat 95, 110 ja 137 vuotta.

Rörstrandin eteläpuolella olevalla hakkaamattomalla kirjanpainajatuhokohteella viideltä ympyräkoevalta mitattiin yhteensä 39 kirjanpainajan tappamaa kuusta, mikä vastaa 156 puuta hehtaarilla. Kirjanpainajan tappamien puiden keskitilavuus oli 164 m³/ha (keskiarvon keskivirhe = 63 m³/ha). Pienen koelamäärän takia keskitilavuuden arvio on varsin epätarkka. Myös tällä alueella kuusten kuolleisuus oli alkanut 2010, ja valtaosa kuusista oli kuollut 2011 ja 2012. Myös tällä kuviolla valtapuiden arvioitu ikä oli noin 110–120 vuotta.

3.3 Kirjanpainajatuhot Uudenmaan vanhoissa kuusikoissa 2010–2013

Tutkituilta 49 kohteella tavattiin yhteensä 910 edellisen neljän vuoden jaksolla 2010–2013 pystyyn kuollutta kuusta. Näistä kirjanpainajan tappamia oli 79%; osuus on siis hyvin samanlainen kuin Rörstrandissa. Myös tuhojen ajoittuminen on hyvin samanlainen kuin Rörstrandissa (kuva 1). Tuhot ovat alkaneet 2010, kasvaneet 2011, laskeneet hiukan 2012 ja lähteneet uudestaan kasvuun 2013.

4 Tulosten tarkastelu

Metsätuholain mukaan valtio korvaa suojelualueelta levinneet tuhot silloin, kun syy-yhteys suojelualueella sattuneiden tuhojen ja sen lähiympäristössä ilmenneiden tuhojen välillä on todennäköinen. Tällainen syy-seuraussuhde on todennäköinen muun muassa silloin, kun suojelualueella on sattunut myrskytuho tai jokin muu puita vaurioitava abiottinen tuho, jonka seurauksena kaarnakuoriaiskannat ovat merkittävästi kasvaneet. Kannat kasvavat aluksi kaatuneissa tai muuten vaurioituneissa puissa, ja seuraustuhoja elävälle puustolle voi ilmetä noin vuosi–kolme vuotta ensisijaisen tuhon jälkeen, minä jälkeen tuhot normaalisti laantuvat (Schroeder 2001, Schroeder ja Lindelöw 2002, Wermelinger 2004, Eriksson ym. 2007). Vaikka mitään ensisijaista selvää abiottista tuhoa ei voitaisi osoittaa-

kaan, kaarnakuoriaiskannat voivat suotuisina kesinä kasvaa metsiköissä, joiden puusto on yli-ikäistä ja heikkokuntoista. Mikäli kannat kasvavat ensin suojelualueella ja tuhoja alkaa vasta tämän jälkeen ilmetä lähimetsissä, voidaan perustellusti epäillä leviämistä suojelualueelta.

Lisäksi syy-seuraussuhteen todennäköisyyden arvioinnissa on otettava huomioon lähimetsän etäisyys suojelualueesta suhteessa tuhonaiheuttajan leviämiskykyyn ja lähimetsän puuston kunto. Mitä lähempänä suojelualueetta kohdemetsikkö sijaitsee, sitä todennäköisempää on, että tuhonaiheuttajat ovat levinneet suojelualueelta. Toisaalta, mitä kauempana suojelualueesta metsikkö sijaitsee, sitä epätodennäköisempää on, että tuhonaiheuttajat olisivat suojelualueelta peräisin. Mitä parempikuntoinen ja nuorempi puusto kohdemetsikössä on, sitä todennäköisemmin spontaanit tuhot (joille ei löydy metsikön puustoon liittyvää selitystä) ovat ympäristöstä levinneiden tuhonaiheuttajien aiheuttamia. Toisaalta mitä huonokuntoisempi ja vanhempi puusto kohdemetsikössä on, sitä todennäköisemmin tuhonaiheuttajat voivat lisääntyä puissa ja niiden kanta alkaa kasvaa paikallisesti.

Rörstrandin alueen puuston kuolleisuuden kehittymisestä on poikkeuksellisen hyvät tiedot vuodesta 2002 vuoteen 2013 asti, koska alueen keskellä vanhassa kuusivaltaisessa metsässä on sijainnut Metsäntutkimuslaitoksen pysyvä 4 hehtaarin koela, jota on mitattu toistuvasti. Vuoden 2002 mittauksessa pystyyn kuolleita kuusia oli yhteensä noin 50 puuta hehtaarilla ja 2008 mittauksessa noin 70 puuta hehtaarilla. Aiempien tulosten perusteella tiedetään, että pystyyn kuolleet kuuset pysyvät pystyssä keskimäärin noin 20 vuotta (Mäkinen ym. 2006). Tämä tarkoittaa sitä, että vuosien 2002 ja 2008 mittausten aikaan edellisen 20 vuoden jakson aikana oli kuollut keskimäärin noin 2,5–3,5 puuta hehtaarilla. Vuonna 2002 koevalta mitattiin 13 sellaista pystyyn kuollutta kuusta, jotka olivat kuolleet edellisen vuoden aikana eli 3,3 puuta hehtaarilla. Tämä sopii hyvin yksin pitkän aikavälin keskimääräisen kuolleisuuden kanssa. Vuonna 2008 puolestaan havaittiin ainoastaan kolme sellaista pystyyn kuollutta kuusta, jotka olivat kuolleet edellisen vuoden aikana eli 0,8 puuta hehtaarilla. Vuonna 2008 kuolleisuus oli siten selvästi keskimääräistä tasoa alempi, eikä kirjanpainajan aiheuttamaa lisääntyntä kuolleisuutta näin

ollen esiintynyt.

Vuonna 2001 marraskuussa riehunut Janika-myrsky kaatoi puita laajalla alueella Etelä-Suomessa, mm. Sipoossa (Ihalainen ja Ahola 2003). Tuuli kaatoi puita myös Rörstrandin metsässä. Tämä näkyy 2002 tehdyssä puustomittauksessa: juurineen kaatuneita tai katkenneita, edellisen vuoden aikana kuolleita vähintään 10 cm läpimittaisia kuusia oli koealalla yhteensä 21 puuta eli 5,5 puuta hehtaarilla. Mikäli Janika-myrskyn seurauksena kaatuneissa puissa on lisääntynyt kirjanpajajia kesällä 2002, nämä ovat saattaneet tappaa eläviä pystypuita 2003 tai sen jälkeen. Tähän mahdollisuuteen viittaa se, että kuolleiden pystypuiden keskimääräinen määrä oli lisääntynyt noin 20 puulla hehtaaria kohti kuuden vuoden jaksolla 2002–2008. Joka tapauksessa seuraustuhot olivat viimeistään vuoteen 2008 mennessä loppuneet. Tuhoja aiheuttavalle tasolle kohonnut kirjanpajajakanta ei voi elää jollain alueella näkyvässä siten, että ne eivät aiheuttaisi vuosittain puuston kuolleisuutta. Jos jonain vuonna tuhoja ei esiinny, tämä tarkoittaa sitä, että kanta on laskenut normaalille ei-epidemiselle tasolle. Vuonna 2008 koealalla oli samana vuonna pystyyn kuolleiden kolmen puun lisäksi vain yksi edellisen vuoden aikana kaatunut maapuu, joten kirjanpajajalle lisääntymismateriaaliksi sopivia tuoreita tuulenkaatoja ei myöskään ollut koealalla.

Elävän puuston mittaukset 4 hehtaarin koealalta 2009 ja 2013 osoittavat, että merkittävät tuhot Rörstrandin alueella ovat alkaneet vasta vuodesta 2010 lähtien, ja 2010-luvun alussa kuusia on kuollut vuosittain keskimäärin kymmenen kertaa enemmän kuin 2000-luvulla. Koko alueen kattavalta ympyräkoelaverkolta saadut tulokset ovat yhtäpitäviä. Rörstrandissa kuusten lisääntynyt kuolleisuus lähti liikkeelle kuumana ja kuivana kesänä 2010, jolloin kuusten kuolleisuus noin kaksinkertaistui taustatastosta. Kuolleisuuden huippu osui kuivan ja lämpimän kesän 2010 jälkeen vuodelle 2011, kuolleisuus laski hieman lämpötiloiltaan tavanomaisena ja saateisena kesänä 2012 ja lisääntyi uudestaan vuonna 2013. Tuhojen ajoittuminen on hyvin samantapainen kuin Uudenmaan vanhoissa kuusikoissa keskimäärin. Valtaosa kuusten kuolleisuudesta Rörstrandin suojelualueella samoin kuin sen eteläpuolisella talousmetsäkuviolla ja muualla Uudellamaalla on kirjanpajajien aiheuttamaa. Kohdemetsiköt oli uu-

distushakattu ennen selvityksen alkua, joten tällä alueella ei voitu selvittää puiden kuolinsyitä. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että kirjanpajaja on aiheuttanut suurimman osan tuhoista myös vie-reisessä talousmetsässä.

Kohdemetsiköiden etäisyys Rörstrandista ei ole niin suuri, etteikö kirjanpajajien leviäminen suojelualueelta niihin olisi sinänsä mahdollista. Tutkimusten mukaan kuitenkin valtaosa uusista kirjanpajajista iskeytyy lähellä oleviin puihin. Pohjoismaisten tutkimusten tulosten perusteella (Wichmann ja Ravn 2001) kirjanpajajae-pidemiassa 90 % uusista kirjanpajajan tappamista puista on korkeintaan noin 120 metrin etäisyydellä aiemmin kuolleista puista. Keskieurooppalaisten tulosten mukaan vastaavasti 65 % uusista tuhopesäkkeistä esiin-tyy 100 metrin säteellä vanhoista tuhopesäkkeistä ja 90 % noin 180 metrin säteellä (Kautz ym. 2011). Yksittäisiä kuolleita puita tai tuhopesäkkeitä voi kuitenkin syntyä aina noin 500 metrin etäisyydelle saakka (Wichmann ja Ravn 2001, Kautz ym. 2011).

Puuston korkea ikä ja todennäköisesti heikko kunto ovat myötävaikuttaneet tuhojen alkamiseen ja kirjanpajajakantojen paikalliseen kasvuun talousmetsässä. Maanomistaja oli havainnut kirjanpajajan kuivattamia puita jo 2010 ja 2011, jolloin paikallinen kirjanpajajakanta on alkanut kasvaa. Metsikkö olisi pitänyt tällöin käsitellä joko oikea-aikaisella torjuntahakkuulla kesäkuussa ennen uusin kirjanpajaja-aikuisten poistumista tai, metsikön yli-ikäisyys huomioon ottaen, uudistushakata. Tuhojen laajenemista ei olisi pitänyt odotella kesään 2012 asti. Metsätuholakiin on otettu myös tavanomainen vahingonkäräjän myötävaikutusta vahingon korvaamisessa koskeva säännös. Kirjanpajajan 2010, 2011 ja 2012 tappamien puiden poisto oli tehty vasta syksyllä. Tämä ei ole poistanut paikalla olevaa kirjanpajajakantaa, koska valtaosa uusista yksilöistä on tällöin ollut jo karikkeissa talvehtimassa. Niinpä tuhojen jatkuminen on ollut odotettavissa.

Kirjanpajajan tappamien kuusten kuolinaikojen arvioimista ja eri vuosina kuolleiden puiden tunto-merkkejä pyrittiin selvittämään maastotöiden yhteydessä. Eri aikaan kuolleiden puiden tyypilliset tuntomerkit saataisiin varmimmin selville siten, että merkittäisiin jonain vuonna sinä vuonna kuolleita puita ja sen jälkeen vuosittain (esim. alkukesällä ja loppukesällä) käytäisiin katsomassa, miltä puut

kulloinkin näyttävät ja kirjattaisiin eri tuntomerkit systemaattisesti muistiin. Nyt tehdyssä inventoinnissa tähän ei ollut mahdollisuutta, vaan eri aikaan kuolleiden puiden kuolinajat arvioitiin yhtenä vuonna. Tämä oli mahdollista siksi, että eri vuosina kuolleita puita oli runsaasti ja usein lähekkäin, ja samana vuonna kuolleet puut muodostivat usein tunnistettavia ryhmiä. Vertailemalla huolellisesti eri aikaan kuolleita puita keskenään pystyttiin varsin hyvin päättämään, millä tavoin puiden ulkoasu ja tuntomerkit muuttuvat tietystä kuolinvuodesta edelliseen vuoteen. Todennäköisesti valtaosa kirjainpainaajan samana ja edellisenä vuonna tappamista puista pystyttiin ajoittamaan oikein. Selvästi hankalia olivat monikirjaajan enemmän kuin kaksi vuotta sitten tappamat puut: neljä vuotta sitten kuolleiksi arvioituja oli kaksi–kolme kertaa niin paljon kuin muina vuosina kuolleita. Todennäköisesti tähän ryhmään luettiin virheellisesti jo aiemmin kuolleita puita. Koska monikirjaajan tappamisissa puissa kuori kuivuu tiukkaan puuhun kiinni, tällaisten puiden ulkonäkö ja tuntomerkit muuttuvat vain hitaasti.

5 Johtopäätökset

Tulosten perusteella ei näytä todennäköiseltä, että tuhot olisivat levinneet suojelualueelta naapurimetsään. Tuhot ovat alkaneet hellekesänä 2010 samaan aikaan monissa eri paikoissa Uudellamaalla vanhoissa kuusikoissa, ja tuhot ovat ajoittuneet samalla tavoin sekä suojelualueilla että vanhoissa talousmetsissä täysin riippumatta suojelualueiden läheisyydestä.

Rörstrandissa ei ole ollut korkeaa kirjainpainaajakantaa (runsaasti äskettäin pystyyn kuolleita kuusia) puustomittauksissa 2002 eikä 2008. Elävän puuston mittaukset vuosina 2009 ja 2013 osoittavat, että valtaosa kuolleisuudesta on sattunut välillä 2010–2013 eli samaan aikaan kuin ympäröivissä talousmetsissäkin alkaneet tuhot, ei niitä ennen.

Sellaisissa tapauksissa, joissa maanomistaja epäilee tuhon leviämistä joko suojelualueelta tai viereisestä talousmetsästä ja harkitsee korvauksen hakemista, on tärkeää ensinnäkin ottaa yhteyttä metsäkeskuksen alueyksikköön nopeasti. Tilanteen arviointi pitäisi tehdä siinä vaiheessa, kun tuhon

kohteena oleva metsikkö on vielä pystyssä. Päätehakkuun jälkeen on huomattavasti vaikeampaa selvittää tuhojen määrää, syitä ja ajoittumista sekä tuhokohteen puuston kuntoa. Tässä kuvattuja tuntomerkkejä voidaan käyttää hyväksi kuusten kuolleisuuden ajoittamisessa noin neljän edellisen vuoden jakson aikana. Ajoitusmenetelmän ja tuntomerkkien kehittämiseksi pitäisi seurata systemaattisesti, miten tietynä vuonna kuolleiden puiden tuntomerkit muuttuvat peräkkäisinä vuosina.

Kiitokset

Kiitämme MMT Raisa Mäkipäätä mahdollisuudesta käyttää hänen hankkeessaan Rörstrandin alueelta mitattuja laajoja puustoaineistoja merkittävänä tietolähteenä tässä tutkimuksessa. Kiitämme MTI Juhani Mäkistä avusta tutkimuksen maastotöissä ja Metsähallitusta sekä yksityisiä maanomistajia tutkimusluvista heidän alueillaan.

Kirjallisuus

- Aakala, T., Kuuluvainen, T., Wallenius, T. & Kauhanen, H. 2011. Tree mortality episodes in the intact *Picea abies*-dominated taiga in the Archangelsk region of northern European Russia. *Journal of Vegetation Science* 22(2): 322–333.
- Eriksson, M., Neuvonen, S. & Roininen, H. 2007. Retention of wind-felled trees and the risk of consequential tree mortality by the European spruce bark beetle *Ips typographus* in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22(6): 516–523.
- Grégoire, J.-C. & Evans, H.F. 2004. Damage and control of BAWBILT organisms – an overview. *Julkaisussa: Lieutier, F., Day, K.R., Battisti, A., Grégoire, J.-C. & Evans, H.F. (toim.). Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis. s. 19–37.*
- Ihalainen, A. & Ahola, A. 2003. Pyry- ja Janika-myrskyjen aiheuttamat puuston tuhot. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2003: 385–401.
- Jönsson, A.M., Appelberg, G., Harding, S. & Barring, L. 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips*

- typographus. *Global Change Biology* 15(2): 486–499.
- Kautz, M., Dworschak, K., Gruppe, A. & Schopf, R. 2011. Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management* 262(4): 598–608.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 79 s.
- Logan, J.A., Regniere, J. & Powell, J.A. 2003. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1(3): 130–137.
- Metsätuhotyöryhmän muistio. Työryhmämuistio MMM 4:2012. 79 s.
- Mäkinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J. & Sievänen, R. 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce, and birch stems in Finland. *Ecological Applications* 16(5): 1865–1879.
- Pouttu, A. & Annala, E. 2010. Kirjanpainajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010: 521–523.
- Rebetez, M. & Dobbertin, M. 2004. Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theoretical and Applied Climatology* 79(1–2): 1–9.
- Saalas, U. 1919. Kaarnakuoriaisista ja niiden aiheuttamista vahingoista Suomen metsissä. *Acta Forestalia Fennica* 10. 415 s. + liitt.
- Saksa, T. & Valkonen, S. 2011. Dynamics of seedling establishment and survival in uneven-aged boreal forests. *Forest Ecology and Management* 261(8): 1409–1414.
- Schroeder, L.M. 2001. Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm disturbed stands. *Integrated Pest Management Reviews* 6(3–4): 169–175.
- & Lindelöw, Å. 2002. Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col Scolytidae) following a storm felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. *Agricultural and Forest Entomology* 4(1): 47–56.
- Viiri, H., Ahola, A., Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Muinonen, E., Parikka, H. & Pitkänen, J. 2011. Kesän 2010 ukkosmyrskyt ja niistä seuraava hyönteistuhoriski. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2011: 221–225.
- Wermelinger, B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202(1–3): 67–82.
- Wichmann, L. & Ravn, H. P. 2001. The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *Forest Ecology and Management* 148: 31–39.
- Öhrn, P., Långström, B., Lindelöw, Å. & Björklund, N. 2014. Seasonal flight patterns of *Ips typographus* in southern Sweden and thermal sums required for emergence. *Agricultural and Forest Entomology*. 16(1): 1–23.

20 viitettä