

Esa Huhta, Anna K. Franke,  
Pasi Aatsinki, Ville Hallikainen, Mikko  
Hyppönen, Vesa Juntunen, Kari Mikkola,  
Seppo Neuvonen ja Pasi Rautio

## Metsänrajan muutokset Lapissa 1983–2009

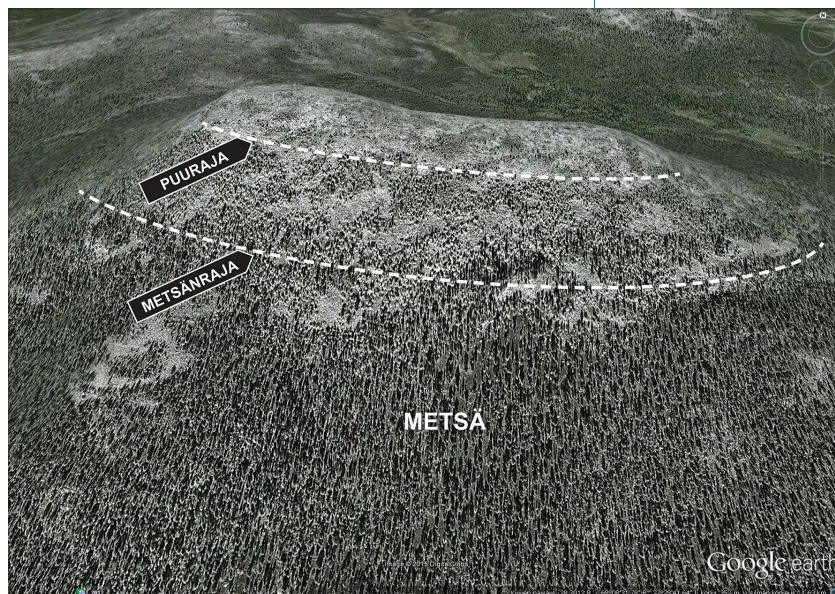
Seloste julkaisusta: Franke A.K., Aatsinki P., Hallikainen V., Huhta E., Hyppönen M., Juntunen V., Mikkola, K., Neuvonen S., Rautio, P. (2015). Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009. *Silva Fennica* vol. 49 no. 5 article id 1408. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1408>

**B**oreaalinen metsänraja erottaa puuttomat alueet metsäisistä ja on maapallon laajin kasvillisuusvyöhykeraja. Se ulottuu ympäri pohjoisen pallonpuoliskon ja on pituudeltaan yhteensä

13 000 km. Metsänrajametsät kasvavat ankarissa ilmasto-olosuhteissa puulajien esiintymisalueiden reunalla, missä pienetkin ympäristömuutokset voivat vaikuttaa puiden levinneisyyteen. Tutkimuksessa selvitettiin kuusi- ja mäntymetsänrajojen muutosta Lapissa vuosina 1983–2009 perustuen Luonnonvarakeskuksen (LUKE) metsänrajalla sijaitsevaan tutkimuskoealojen verkostoon.

Kolmellatoista tutkimusalueella eri puolilla Lappia sijaitsevat koealat mitattiin viisi kertaa tutkimusjakson aikana. Koealat (yhteensä 117, yhdeksän jokaisella 13 alueella) sijaitsivat gradientissa metsässä, metsänrajalla ja puurajalla tuntureiden rinteillä kolme koealaa kussakin (kuva 1). Koealoilta, joiden säde oli 9,8 m, määritettiin puiden runkoluku (alle 1,3 m taimien sekä 1,3 m ja pitempien puiden runkolukujen yhteismäärä) ja elävän yli 2 metrisen puuston tilavuus. Aineisto analysoitiin tilastollisesti lineaaristen sekamallien avulla.

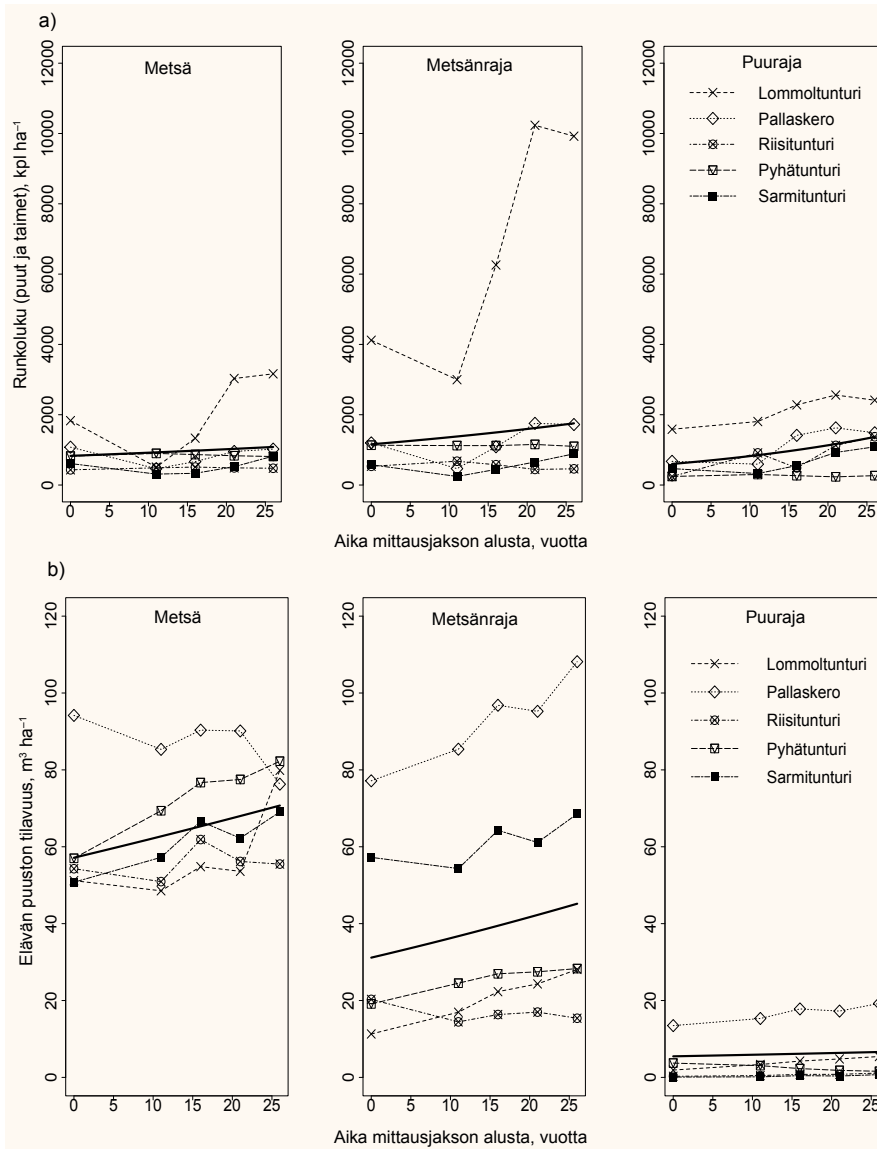
Kuusikoealoilla sekä runkoluvun että tilavuuden havaittiin merkitsevästi lisääntyneen erityisesti Länsi-Lapissa (taulukot 1 ja 2, kuva 2). Männyn runkoluvussa yleistä muutosta ei havaittu (tauluk-



**Kuva 1.** Esimerkki metsän- ja puurajavyöhykkeiden sijainnista tunturin rinteellä.

**Taulukko 1.** Muuttujien väliset tilastollisesti merkitsevät riippuvuudet. Tilastollisesti ei-merkitsevät riippuvuudet on esitetty vaakanuolilla.

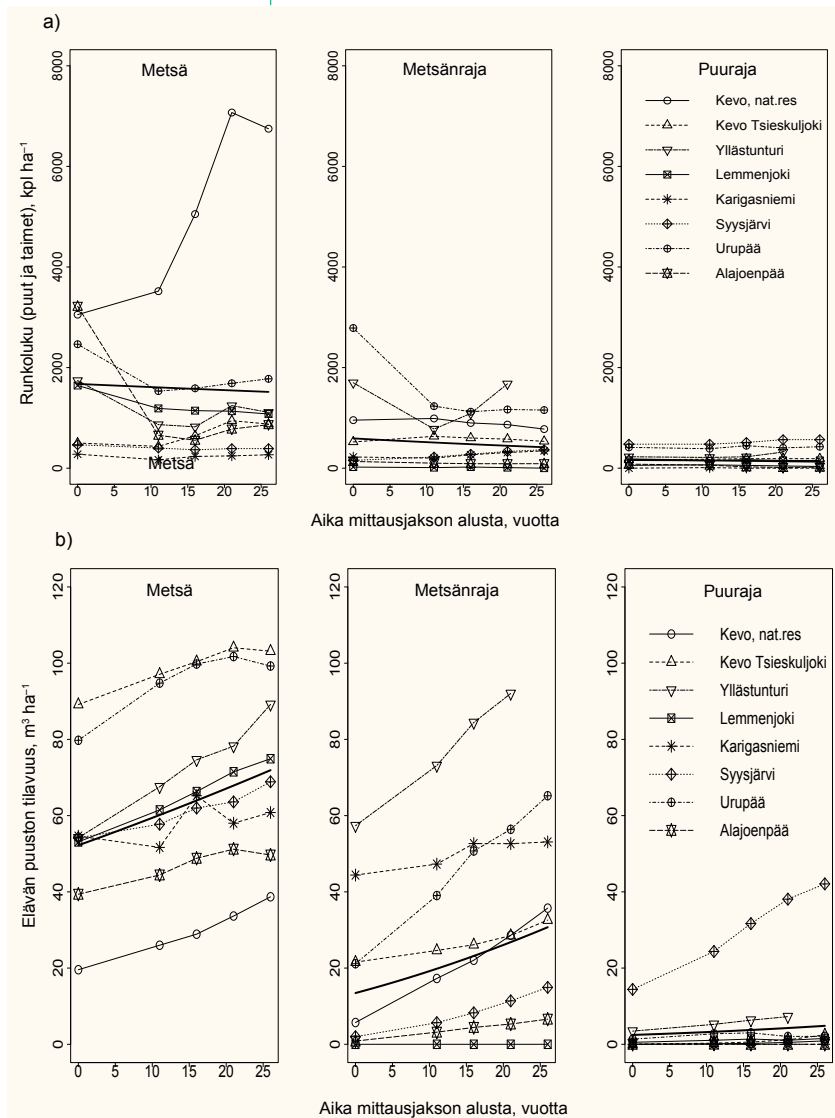
	Mänty runkoluku ha <sup>-1</sup>	Mänty tilavuus m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Kuusi runkoluku ha <sup>-1</sup>	Kuusi tilavuus m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Alue: pohjoinen (mänty), läntinen (kuusi)	0,327 →	0,000 ↔	0,000 ↔	0,000 ↔
Alue: eteläinen (mänty), itäinen (kuusi)	0,000 ↔	0,000 ↔	0,026 ↔	0,000 ↔
Vyöhyke: metsä	0,590 →	0,000 ↔	0,127 →	0,000 ↔
Vyöhyke: metsänraja	0,078 →	0,000 ↔	0,041 ↔	0,000 ↔
Vyöhyke: puuraja	0,120 →	0,011 ↔	0,000 ↔	0,086 →



**Taulukko 2.** Puuston runkoluku ( $\text{ha}^{-1}$ ) ja tilavuus ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) tutkimusjakson alussa ja lopussa eri alueilla

	Runkoluku 1983 $\text{ha}^{-1}$	Runkoluku 2009 $\text{ha}^{-1}$	Tilavuus 1983 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	Tilavuus 2009 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$
Kuusi				
Alue: länsi	1386	2826	31,5	44,0
Alue: itä	591	850	21,6	27,4
Mänty				
Alue: pohjoinen	394	462	18,6	33,4
Alue: etelä	816	414	19,5	30,4

**Kuva 3.** (a) Männyn runkoluku  $\text{ha}^{-1}$  ja (b) elävän puuston tilavuus  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  sekä tilastomallin ennustearvot jokaiselle yöhykkeelle (musta viiva).



ko 1). Männyllä kuitenkin runkolukujen havaittiin vähentyneen eteläisillä mutta ei pohjoisilla tutkimusalueilla. Männytilavuuden havaittiin lisääntyneen sekä eteläisillä että pohjoisilla tutkimusalueilla (taulukot 1 ja 2, kuva 3).

Lämpösumma ja sadanta ovat lisääntyneet tutkimusjakson aikana Kuusamossa, Sodankylässä ja Kevoilla erityisesti ajanjaksolla 1994–2013 verrattuna pitkäaikaiskeskiarvoihin vuosilta 1977–2013. Muutuneet ympäristöolosuhteet ovat vaikuttaneet positiivisesti puiden lisääntymiseen, kasvuun ja elossapysymiseen. Näyttäisi siltä, että kuusentaimet ovat männyntaimia paremmin sopeutuneet muuttuviin ilmastotekijöihin metsänraja-alueella. Tuloksista voi päätellä, että kuusi vaatii mäntyä suotuisimmat olosuhteet uudistuakseen, mutta uudistuttuaan kuusen taimet ovat männyntaimia kestävämpiä bioottisia ja abioottisia häiriötekijöitä vastaan.

Aiemmissä tutkimuksissa on arvioitu, että puiden kasvuun vaikuttavista tekijöistä tärkein on kesälämpötila, joka selittää 43 % kasvun vaihtelusta. Loput tekijät syntyvät metsätalouden, typpilaskeuman ja hiilidioksidin vaikutuksista. Tutkimusalueillamme metsätaloutta ei kuitenkaan ole harjoitettu ja typpilaskeumakin on pieni. On todennäköistä, että metsiköiden parantunut kasvu ja lisääntynyt taimettuminen johtuvat kasvukauden pitenemisestä ja ilmakehän lisääntyneestä hiilidioksidista yhdessä biologisten tekijöiden kanssa. Kuusen uudistumista ja kasvua ovat tutkimusalueella edistäneet pidentyneen kasvukauden lisäksi hyvät siemensadot ja kuusen mäntyä parempi kestävyys tykyn runtelevaa vaikutusta vastaan. Mänty kärsii tutkimusalueella pääasiassa talvihomeen ja mäntypistiäisen aiheuttamista tuhoista. Lisäksi porojen aiheuttama tallaaminen tappaa männyntaimia.

Lisääntyvä metsien tilavuuskasvu saattaa merkitä erityisesti kuusen metsänrajan merkittävää etenemistä eli metsiköiden esiintymistä korkeammalla tunturien rinteillä tulevaisuudessa. Muutos riippuu kuitenkin puulajista ja metsänrajan sijainnista, joten kaikkialla tilavuuskasvun lisääntyminen ei välttämättä merkitse havumetsänrajan siirtymistä korkeammalle ja pohjoisemmaksi.

■ Esa Huhta, Luonnonvarakeskus, Rovaniemi  
Sähköposti esa.huhta@luke.fi

Tuomas Aakala

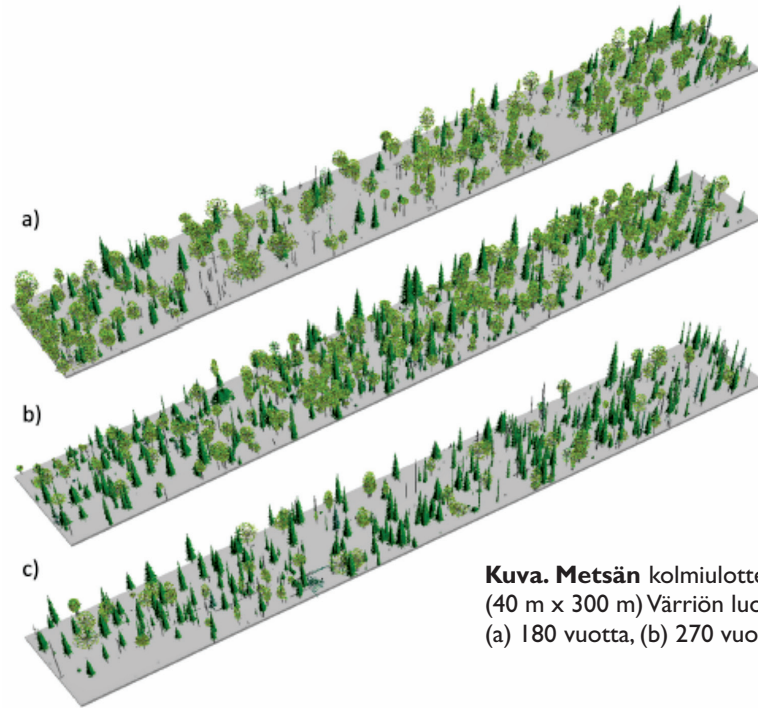
## Luonnonmetsien puuston tilarakenteen kehitys

Seloste artikkelista: Kreuz, Andreas, Aakala, Tuomas, Grenfell, Russell, Kuuluvainen, Timo (2015). Spatial tree community structure in three stands across a forest succession gradient in northern boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* vol. 49 no. 2. article id 1279.  
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1279>

Luontaisen metsäsukcession myötä tapahtuva metsän puulajikoostumuksen ja puiden koejakautaman kehitys tunnetaan kohtalaisen hyvin. Luonnonmetsien puuston tilarakenteen kehitys tunnetaan sen sijaan huonosti, vaikka sen merkitys on keskeinen metsien kehitysdynamiikan ymmärtämisen kannalta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella puuston tilajakaumaa ja sen vaihtelua metsäsukcessiossa perustuen kolmeen eri sukcessiovaiheeseen olevaan tutkimusmetsikköön jotka sijaitsivat Värriön luonnonpuistossa pohjoisborealisella kasvillisuusvyöhykkeellä.

Tutkimusaineisto mitattiin kolmelta 1,2 ha kokoiselta ja metsäsukcession eri vaihetta edustavalta koealalta kuusi- ja koivuvaltaisesta metsästä (kuva). Puuston kartoituksen ja mittauksen lisäksi metsien iän ja puuston ikärakenteen selvittämiseksi kairattiin näytepuita. Puustokarttoihin perustuvaan pienen mittakaavan (< 10 m) tilarakenteen analyysiin käytettiin Rippleyn K-funktioon perustuvaa analyysiä, jonka avulla voidaan tarkastella puiden tilajakauman poikkeamista satunnaisesta joko ryhmittäisyyteen tai säännöllisyyteen päin. Funktion kahdelle ryhmälle kehitetyn muunnelman perusteella tarkasteltiin puulajien (kuusen ja koivun) ja puiden läpimitan perusteella muodostettujen luokkien (nuoret alle 10 cm, ja varttuneet yli 10 cm) esiintymistä suhteessa toisiinsa. Kahden eri puulajin välillä voi olla positiivinen yhteys (todennäköistä, että laji 1 esiintyy lajin 2 läheisyydessä), negatiivinen yhteys (epätodennäköistä, että laji 1 esiintyy lajin 2 läheisyydessä), tai lajit voivat esiintyä riippumatta toisistaan.

Metsiköt olivat kaikki eri-ikäisrakenteisia, mutta niiden vanhimpien puiden iän perusteella määritetty häiriöstä kulunut aika näkyi odotusten mukaisesti



**Kuva. Metsän** kolmiulotteinen rakenne kolmella tutkimuskoealalla (40 m x 300 m) Värriön luonnonpuistossa. Metsien iäksi määritettiin (a) 180 vuotta, (b) 270 vuotta ja (c) yli 350 vuotta.

niiden puulajikoostumuksessa: koivuvaltainen koivu–kuusi sekametsä arvioitiin n. 180 vuoden ikäiseksi, kuusivaltainen kuusi–koivusekametsä n. 270-vuotiaaksi, ja selkeästi kuusivaltainen metsä n. 350-vuotiaaksi. Vanhimman metsikön ikä lähentelee kuusen maksimi-ikää. Tämän, ja pitkälle lahonneen kuolleen puuston runsauden perusteella vanhin metsikkö on todennäköisesti selkeästi vanhempi kuin mitä vanhimman puun iän perusteella voi olettaa.

Kun puiden tilajakaumaa tarkasteltiin puulajeittain, molempien pääpuulajien varttuneet yksilöt esiintyivät koealoilla joko satunnaisesti tai ryhmittyneenä. Nuoret kuuset olivat ryhmittyneitä, kun taas koivut esiintyivät alueilla ryhmittyneenä tai satunnaisesti. Tämä oli aikaisempien tutkimusten perusteella odotettua. Kun puiden tilajakaumaa tarkasteltiin suhteessa toiseen puulajiin ja/tai ikäluokkaan, nuoremmat puut esiintyivät todennäköisimmin saman puulajin varttuneiden yksilöiden lähellä. Varttuneita puita analysoitaessa kuusten ja koivujen välillä oli negatiivinen yhteys, ja päinvastoin, eli lajit ”hylkivät” toisiaan.

Puulajien, ja nuorten ja varttuneiden puiden osalta ei löytynyt selkeitä metsikön kehityksen mukaisia

muutoksia kun niitä analysoitiin yksinään. Sen sijaan kun puiden sijaintia analysoitiin suhteessa saman puulajiin eri latvuskerroksen yksilöihin, tai toisen puulajin yksilöihin, eroja löytyi. Varttuneiden puiden välinen hylkiminen oli voimakkainta vanhimmassa metsikössä. Samoin saman puulajin sisällä nuorten ja varttuneiden yksilöiden välinen positiivinen yhteys oli voimakkainta vanhimmassa metsikössä.

Tulosten perusteella metsät muodostuivat puulajeittaisista ryhmittymistä, ”mosaiikeista”, joissa siis saman puulajin edustajat esiintyvät todennäköisemmin toistensa läheisyydessä, kuin eri puulajin läheisyydessä. Tämä rakenne, samoin kuin kuusi–koivu puulajisekoitus näyttää pysyvän yllä ennen kaikkea vanhojen puiden korvautumisella saman puulajin yksilöillä. Tämä havainto poikkeaa aikaisempien aihepiiristä tehtyjen tutkimusten tuloksista.

■ Tuomas Aakala, Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos  
Sähköposti tuomas.aakala@helsinki.fi

Sari Karvinen ja Tuomas Nummelin

## Suomalaisen metsäkone- yrittäjän toimintaan kohdistuvat riskit Venäjällä

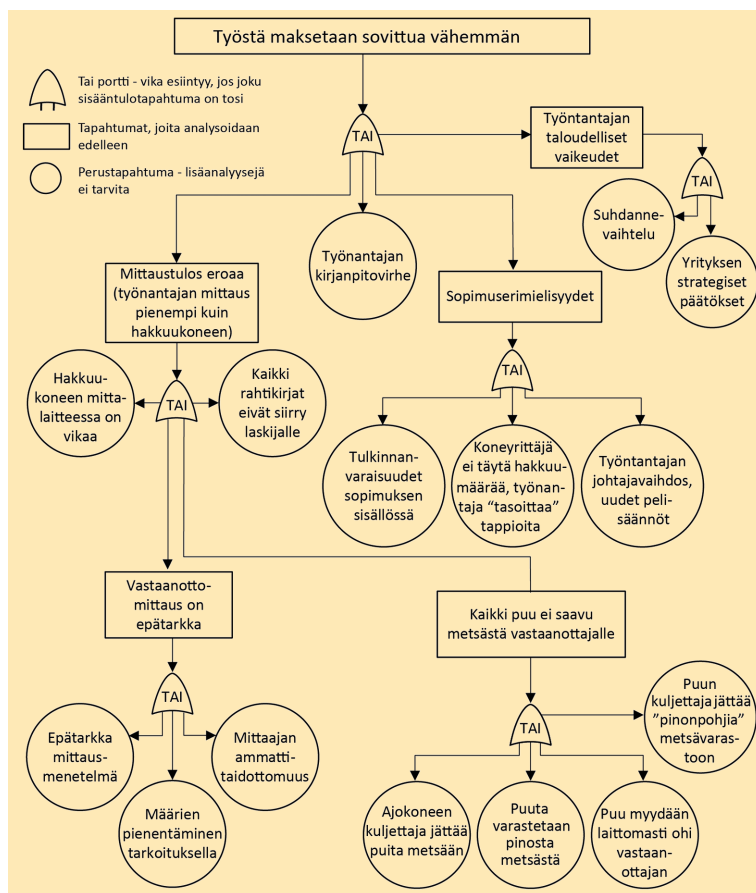
Seloste artikkelista: Karvinen S., Nummelin T. (2015). Finnish wood harvesting contractors' risks in Russia. *Silva Fennica* vol. 49 no. 5 article id 1394. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1394>

**K**ymmeniä suomalaisia metsäkoneyrittäjiä on urakoinut puunkorjuussa Venäjällä 1990-luvulta alkaen. Toiminnassa on riittänyt haasteita ja osa yrittäjistä on lopettanut urakoinnin Venäjällä. Osa kuitenkin jatkaa, ja Venäjä kiinnostaa myös uusia

suomalaisia koneyrittäjiä, joiden koulutustarpeita varten toteutettiin tutkimus Venäjän toimintaympäristölle tyypillisistä riskeistä ja niiden hallintakeinoista.

Riskien tunnistamiseen ja analysointiin käytettiin asiantuntija-arviota. Menetelmänä käytettiin ISO-standardin mukaista riskimatriisia, jossa yhdistetään seurauksen ja todennäköisyyden laadullinen luokitus riskitason tuottamiseksi. Riskianalyysi tehtiin kuvitteelliselle esimerkkiyritykselle. Tunnistetuista riskeistä valittiin merkittävin yksityiskohtaista tarkastelua varten vikapuuanalyysin avulla. Seurauksia arvioitiin erikseen taloudellisille sekä keskeytys- ja henkilövahingoille. Keskeisimmille riskeille määriteltiin konkreettisia toimenpiteitä, joilla riskin lähteitä voidaan poistaa tai seurauksia vähentää.

Suurin osa esimerkkiyrityksen toimenpiteistä vaativista riskeistä liittyi *talouteen*. Ainoa sietämätön eli



**Kuva 1.** Venäjällä urakoinnin suurimman taloudellisen riskin eli sopimuserimielisyyden syyt.

välttämättä poistettava taloudellinen riski oli puutavaran mittaustulokseen liittyvä sopimusrikkomus, mutta myös maksujen viivästyminen oli merkittävä riski. Venäjällä urakoinnissa oli siis yleistä, että yritykselle maksettiin työstä sovittua vähemmän, joten se valittiin yksityiskohtaisemman tarkastelun kohteeksi. Vikapuuanalyysillä tunnistettiin ongelmatilanteeseen johtavia syitä ja tapahtumapolkua, jotka on esitetty kuvassa 1.

Maksuihin liittyviä ongelmia vähennettiin poistamalla riskin lähteitä. Sisäisellä laadunvalvonnalla varmistettiin omien mittalaitteiden kunto ja parannettiin kuskien työskentelyä metsässä. Urakanantajan toiminnasta johtuviin syihin oli vaikea vaikuttaa, mutta riskien toteutumista ehkäistiin yksityiskohtaisilla sopimuksilla ja työnantajan valinnalla. Maksun viivästyminen välttämiseksi sopimukseen sisällytettiin viivästyskorko, joka laskutettiin heti ensimmäisen viivästyksen sattuessa. Työskentely usealle urakanantajalle pienensi taloudellisia riskejä.

Merkittäviä eli toimenpiteitä vaativia taloudellisia riskejä olivat lisäksi riippuvuus yhdestä asiakkaasta sekä urakanantajan ja koneyrityksen epäsuhtainen neuvotteluasema uusia sopimuksia solmittaessa. Riskiä pienennettiin määrittelemällä yritykselle edullinen sopimuskausi ja valitsemalla neuvotteluajankohdaksi syksy, jolloin urakanantajalla on suurin tarve korjuupalveluista. Lisäksi omaa neuvotteluasemaa vahvistettiin joustavasti siirrettävällä kalustolla ja hyvällä työvoimareservillä. Yhdestä asiakkaasta riippuvuus johti myös merkittävään keskeytysriskiin, koska ongelmatapauksissa oli löydettävä uusi asiakas tai pahimmillaan lopetettava urakointi kokonaan. Riskin seurauksiin varauduttiin kartoittamalla jatkuvasti potentiaalisia asiakkaita ja alan toimijoita sekä verkottumalla mahdollisimman laajasti. Rajallinen asiakasmäärä, riippuvuus tärkeästä asiakkaasta ja heikko neuvotteluasema ovat ongelmia myös Suomessa, joten ne eivät ole erityisesti Venäjälle ominaisia haasteita vaan kuuluvat alan yleiseen luonteeseen.

*Koneiden huolto ja varaosat* muodostivat Venäjällä kohtalaisen eli mahdollisesti toimenpiteitä vaativan keskeytysriskin, johon varauduttiin minimoimalla huoltotarvetta omien työntekijöiden koulutuksella ja pitämällä varaosia varastossa. Varaosien ja tarvikkeiden varasto mitoitettiin ja sijoitettiin oikein, koska varkaudet aiheuttivat kohtalaisen taloudelli-

sen riskin. Venäjälle tyypillisiä ongelmia olivat myös *turvallisuuteen* liittyvät riskit. Taukotilojen vakaviin tulipaloihin liittyi merkittävä henkilöriski, joten hälyttimien käyttö ja sammuttimien saatavuus olivat välttämättömiä riskin käsittelytapoja. Koneiden palovauriot olivat kohtalainen taloudellinen riski, jonka toteutumista estettiin huolehtimalla koneiden säännöllisestä pesusta ja paloturvallisuusohjeista. Työntekijöiden koulutuksella ehkäistiin kaikkien palovahinkojen syntymistä.

*Tuotantoon* liittyi Venäjällä kohtalainen taloudellinen ja keskeytysriski, koska koneet eivät olleet täydessä käytössä leimikoiden ketjutusongelmien seurauksena. Yrityksen omat toimenpiteet riskien hallitsemiseksi olivat rajattuja, koska leimikoiden määrääminen hakattavaksi oli urakanantajan vastuulla. Riskiä pyrittiin vähentämään täyttämällä sopimusvelvoitteet huolellisesti ja tekemällä tiivistä yhteistyötä urakanantajan operatiivisten vastuuhenkilöiden kanssa. Korjuuseen sopivien leimikoiden saatavuus on haaste koneyrityksen kannattavuudelle myös Suomessa.

*Henkilöstön* osalta merkittävä taloudellinen ja keskeytysriski oli työntekijöiden riittämätön ammattitaito, joka johtuu Venäjän koulutusjärjestelmän puutteista. Riskin lähteitä poistettiin laatimalla yritykselle työntekijöiden rekrytointistrategia, ennakoimalla ongelmatilanteita sekä huolehtimalla hyvästä työnjohdosta ja selkeästä ohjeistuksesta. Työntekijöiden johtaminen on Venäjällä haastavaa toimintakulttuurin erojen vuoksi, joten johtamistaidon merkitys korostuu jopa enemmän kuin Suomessa. Työmotivaation vaihtelu ja sen seurauksena tuotoksen muutos muodosti kohtalaisen taloudellisen riskin Venäjällä. Suomessa vastaavaa ongelmaa ei esiinny, vaan riskinä on henkilöstön vaihtuminen. Palkkauserusteilla ja kannustimilla voitiin edistää korkeaa tuotosta, samalla oli kuitenkin huolehdittava, ettei sitä tehty kaluston kustannuksella. Kokonaisvastuuta parannettiin sitouttamalla työntekijät yritykseen, erityisesti palkkaamalla paikallisia työntekijöitä. Yrittäjän mukautumiskyky Venäjän toimintaympäristöön oli kohtalainen riski taloudellisten menetysten ja keskeytysten kannalta.

*Markkinoiden* epäterve kilpailu oli Venäjällä merkittävä taloudellinen riski, joka voi johtaa pienempiin yksikköhintoihin. Ulkoisia toimintaedellytyksiä oli vaikea muuttaa, mutta riskiin varauduttiin

huolehtimalla yrityksen omasta kilpailukyvyvystä ja maineesta säilyttämällä hyvä toimintavarmuus, työn laatu ja tehokkuus.

*Viranomaistoiminta* muodosti merkittävän taloudellisen riskin lakien ja säännösten tulkinnan vaihtelun vuoksi. Riskin lähdettä ei voitu poistaa, joten toimenpiteet tehtiin vahinkojen minimoimiseksi. Neuvottelu viranomaisten kanssa oli ensimmäinen toimenpide ja vakavissa tapauksissa turvauduttiin asiantuntija-apuun. Asiantuntijoiden neuvontaa hyödynnettiin myös jatkuvasti oman toiminnan turvaamiseksi. Viranomaistoiminnan läpinäkymättömyys ja arvaamattomuus on Venäjän liiketoimintaympäristölle tyypillinen haaste.

*Infrastruktuuri* oli ainoa sietämätön keskeytysriski esimerkkirytykselle. Kelirikkoaikaiset seisokit muodostivat myös kohtalaisen taloudellisen riskin. Vaikka sietämättömän riskin poistaminen tai pienentäminen olisi välttämätöntä, ei yrityksellä ollut mahdollisuutta metsäteiden rakentamiseen. Riskiä pyrittiin vähentämään valitsemalla urakanantaja leimikkojen sijainnin perusteella ja suunnittelemalla omaa toimintaa pitkällä tähtäyksellä. Puunkorjuun kausiluonteisuus huonontaa koneyrittäjän kannattavuutta sekä Suomessa että Venäjällä, mutta Venäjällä ongelma korostuu huonon metsätieverkoston vuoksi ja seisokit ovat huomattavasti pidempiä.

■ Sari Karvinen & Tuomas Nummelin, Luonnonvarakeskus, Joensuu & Vantaa  
Sähköposti sari.karvinen@luke.fi

Jouni Partanen, Risto Häkkinen ja Heikki Hänninen

## Juuriyhteyden merkityksen taimien kasvusilmujen puhkeamiseen niiden lepotilan purkautuessa

Seloste artikkelista: Partanen, J., Häkkinen, R. & Hänninen, H. (2016). Significance of the root connection on the dormancy release and vegetative bud burst of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings in relation to accumulated chilling. *Silva Fennica* 50(1), article id 1443.  
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1443>

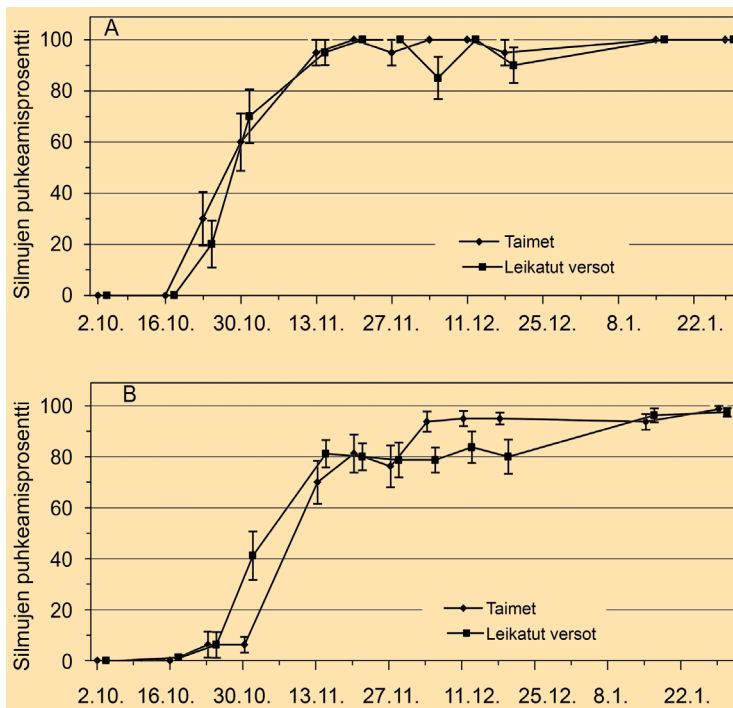
**V**altaosa lepotilan eli dormanssin purkautumista selvittäneistä tutkimuksista on tehty nuorilla taimilla. Niistä saatujen tulosten mukaan taimien viileälätistysvaatimus ( $-5...+10^{\circ}\text{C}$ ) täyttyy Suomen olosuhteissa loka–joulukuussa, jolloin ne pystyvät lähtemään kasvuun korkeiden ns. hyötölämpötilojen ( $>+5^{\circ}\text{C}$ ) vaikutuksesta. Näiden tulosten yleistämistä koskemaan aikuisia puita kuitenkin hankaloittaa kuusen (*Picea abies* L. Karst.) taimien fysiologian muuttuminen niiden siirtyessä 5–10 vuoden iässä vapaasta ennalta määrättyyn kasvutapaan, sillä se saattaa vaikuttaa lepotilan purkautumista ja silmujen puhkeamista kontrolloiviin tekijöihin.

Lepotilan purkautumista selvittävät kokeet on puilla vaikea toteuttaa, sillä niitä on käytännössä mahdoton siirtää kasvihuoneeseen. Tämän vuoksi on ns. hyötökokeissa käytetty taimien ohella puista leikattuja oksia. Oksan irrotus saattaa kuitenkin vaikuttaa sen fysiologiaan. Irrotus saattaa häiritä oksan vedensaantia. Tämän lisäksi se estää mahdolliset kasvihormonien antamat silmujen puhkeamista säätelevät signaalit. Isojen puiden oksien on oletettu olevan kevätfenologian suhteen hitaampia kuin itse puut, toisin sanoen niillä saadut tulokset saattavat olla yliarvioita. Toisaalta niiden on äskettäin todettu kuvaavan hyvin lauhkean vyöhykkeen lehtipuiden fenologisia reaktioita.

Tässä tutkimuksessa tutkittiin juuriyhteyden katkaisun vaikutusta lepotilan purkautumiseen ja



**Kuva 1.** Kuusen 2-vuotiaiden juurellisten taimien (vinoneliöt) ja leikattujen versojen (neliöt) silmujen puhkeamisprosentti 12 siirrossa luonnon- ja totutteluolosuhteista (siirrot 13.11. eteenpäin) hyötöolosuhteisiin. Vaaka-akseli ilmaisee siirron päivämäärän. Pystyjanat kuvaavat keskiarvon keskivirhettä. (A) Päätesilmut; (B) neljä ylintä sivusilmua.



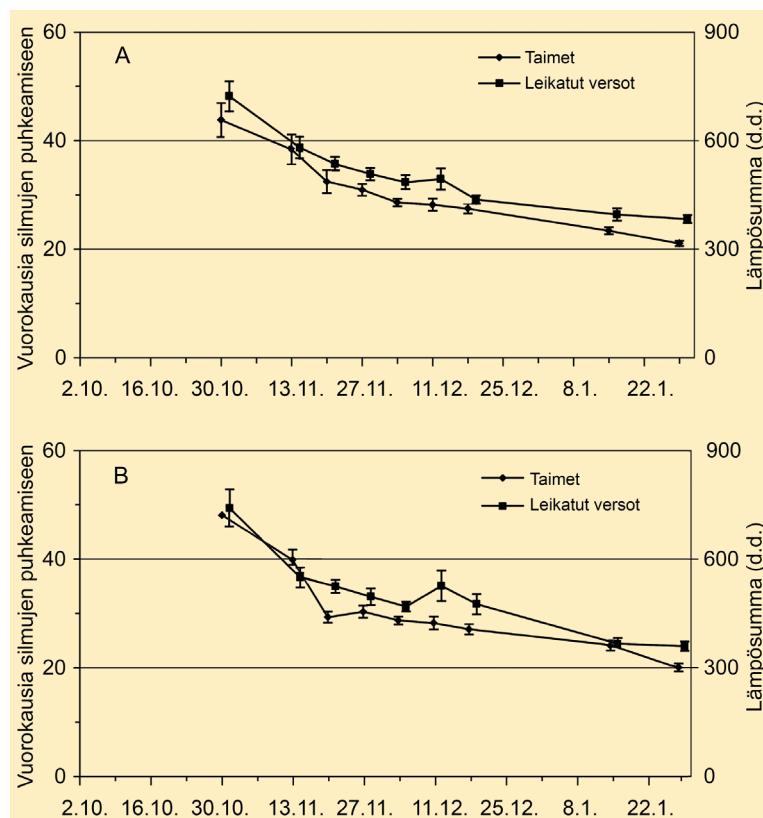
kasvusilmujen puhkeamiseen 2-vuotiailla kuusen siementaimilla ja niistä leikatuilla versoilla. Yhden siemenalkuperän taimia siirrettiin vuosina 2007 ja 2008 loka–tammikuussa 1–4 viikon välein lämmitettyyn kasvihuoneeseen joko suoraan luonnonolosuhteista tai yhden viikon totuttelun (pimeä, +1...+4 °C) jälkeen (siirrot 13.11. eteenpäin). Ennen hyötöolosuhteisiin siirtämistä 20 taimia 40:stä leikattiin turpeen yläpuolelta. Leikatut versot vietiin hyötöolosuhteisiin vesiastioissa ja taimet kokonaisina juuripaakuissa. Molemmista havainnointiin näkyvää silmujen puhkeamista kolmasti viikossa kahden tai kolmen päivän välein.

Kahdessa ensimmäisessä siirrossa (2. ja 16.10.) ei havaittu juuri lainkaan silmujen puhkeamista (kuva 1). Viileältistuksen kertyessä silmujen puhkeamisprosentti kohosi S-käyrän muotoa noudattaen kohti 100 % osoittaen lepotilan purkautumista. Päätesilmujen puhkeamisprosentissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ( $p=0,992$ ) leikattujen versojen ja juurellisten taimien välillä (kuva 1A). Kuten päätesilmuilla myös neljän ylimmän sivusilmun silmunpuhkeamiskäyrät olivat S-käyrän muotoisia, mutta taimilajien ja siirtojen välillä oli

tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ( $p<0,001$ ). Hyötöolosuhteisiin 30.10. ja 13.11. siirrettyjen leikattujen versojen sivusilmujen puhkeamisprosentti oli suurempi, mutta 4., 11. ja 18. joulukuuta siirrettyjen sitä vastoin pienempi kuin juurellisten taimien (kuva 1B). Sekä taimien että leikattujen versojen kaikki päätesilmut puhkesivat ensimmäisen kerran 20.11. tehdyssä siirrossa, mikä viittaa siihen että molemmat saavuttivat kasvuunlähtökyvyn marraskuun puolivälissä, kun viileältistussumma oli 800–850 ch.u. (kuva 1A). Aiemmin 17-vuotiaiden kuusten silmujen sisäisestä kehityksestä on myös saatu tähän viittaavia tuloksia.

Keskimääräinen silmujen puhkeamiseen kulunut aika lyheni jatkuvasti aikaisista myöhäisempiä siirtoja kohden viileältistuksen lisääntyessä (kuva 2). Lisäksi se oli sekä päätesilmuilla että sivusilmuilla systemaattisesti ja tilastollisesti merkitsevästi pitempi ( $p<0,001$ ) leikatuilla versoilla kuin juurellisilla taimilla. Päätesilmuilla tämä ero oli keskimäärin 3,4 ja sivusilmuilla 4,6 päivää (kuva 2).

Juuriyhteyden katkaisu viivästytti hieman nuorten siementaimien silmujen puhkeamista, mutta silmujen puhkeamisprosenttiin sillä ei ollut johdon-



**Kuva 2.** Keskimääräinen kuusen 2-vuotiaiden juurellisten taimien (vinoneliöt) ja leikattujen versojen (neliöt) silmujen puhkeamiseen kulunut aika vuorokausina luonnon- ja totutteluolosuhteista (siirrot 13.11. eteenpäin) hyötöolosuhteisiin siirtämisestä lukien. Vaaka-akseli ilmaisee siirron päivämäärän. Pystyjanat kuvaavat keskiarvon keskivirhettä. (A) Pätesilmut; (B) vähintään kaksi sivusilmua neljästä puhjennut. Oikeanpuoleinen pystyakseli osoittaa likimäärin hyötöolosuhteissa silmujen puhkeamiseen mennessä kertynyttä lämpösusmaa.

mukaista vaikutusta. Tämän alustavan taimiaineiston perusteella juuriyhteydestä irrotetun materiaalin käyttö lepotilan purkautumista selvittämissä kokeissa voi siis vaikuttaa tuloksiin, mutta ei mitään ilmeisimmin johda olennaisesti virheellisiin johtopäätöksiin. Erityisesti isojen puiden osalta tarvitaan kuitenkin jatkotutkimuksia eri alkuperillä arvioitaessa juuriyhteyden katkaisun merkitystä niiden lepotilan purkautumiseen ja silmujen puhkeamiseen.

### Kirjallisuus

- Basler, D. & Körner, C. 2012. Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species. *Agricultural and Forest Meteorology* 165: 73–81.
- Partanen, J., Hänninen, H. & Häkkinen, R. 2005. Bud burst in Norway spruce (*Picea abies*): Preliminary evidence for age-specific rest patterns. *Trees – Structure and Function* 19(1): 66–72.

- Viherä-Aarnio, A., Sutinen, S., Partanen, J. & Häkkinen, R. 2014. Internal development of vegetative buds of Norway spruce trees in relation to accumulated chilling and forcing temperatures. *Tree Physiology* 34(5): 547–556.
- Vitasse, Y. & Basler, D. 2014. Is the use of cuttings a good proxy to explore phenological responses of temperate forests in warming and photoperiod experiments? *Tree Physiology* 34(2): 174–183.

■ Jouni Partanen, Luonnonvarakeskus, Suonenjoki;  
Risto Häkkinen, Luonnonvarakeskus, Vantaa;  
Heikki Hänninen, Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos, Helsinki  
Sähköposti jouni.partanen@luke.fi

Juha Lappi ja Jaana Luoranen

## Miten syöntipaine vaikuttaa tukkimiehentäin aiheuttamiin vaurioihin: kaksikulotteiseen yleistettyyn lineaariseen sekamalliin perustuva analyysi

Seloste artikkelista: Lappi, J., Luoranen, J. (2016). Using a bivariate generalized linear mixed model to analyze the effect of feeding pressure on pine weevil damage. *Silva Fennica* vol. 50 no. 1 article id 1496. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1496>

**T**utkimuksen tavoitteena oli kehittää tilastollinen menetelmä, jolla voidaan analysoida, kuinka syöntipaine vaikuttaa tukkimiehentäin aiheuttamiin vaurioiden todennäköisyyteen torjunta-aineella käsitellyillä kuusen taimilla. Syöntipaineella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa käsittelemättömien ja muokkaamattomaan maahan istutettujen taimien todennäköisyyttä tulla tukkimiehentäin vaurioittamaksi.

Tutkimusaineistona oli 11 vuonna 2012 ja 9 vuonna 2013 istutettua taimikkoa. Kussakin taimikossa torjunta-aineella ( $\lambda$ -cyhaltorin 100 g L<sup>-1</sup>, KarateZeon-tekniikka) käsitellyt koetaimet istutettiin neljään lohkokoon. Kussakin lohkokossa 25 tainta istutettiin mättäisiin. Sen lisäksi 25 kontrollitainta (10 vuonna 2012) istutettiin samoihin lohkoihin mättäiden väliin. Kontrollitaimien vaurioiden avulla mitattiin syöntipainetta, mutta mittaukset sisältävät satunnaista mittausvirhettä. Taimikoista mitattiin lukuisia taimikko- ja taimikohtaisia tunnuksia. Tässä tutkimuksessa käytettiin hyväksi vain taimen etäisyyttä humuksen reunasta.

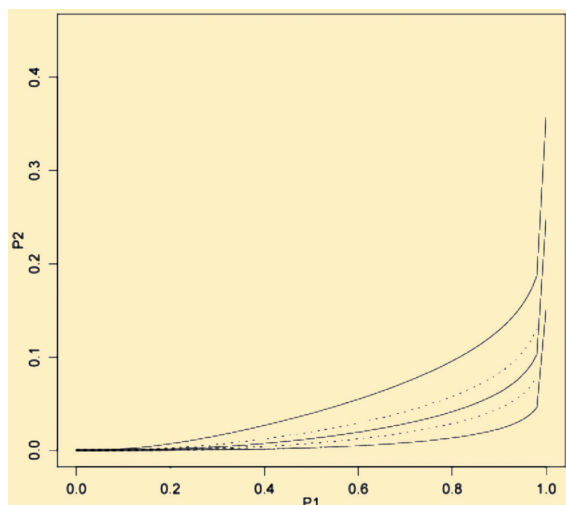
Taimivaurio on binäärinen vastemuuttuja. Lisäksi vaurion todennäköisyys vaihtelee selvästi taimikosta toiseen ja jossain määrin myös lohkojen välillä. Siten yleistetty lineaarinen sekamalli on luonteva menetelmä aineiston analysoimiseksi. Yleistetyssä lineaarisessa mallissa kuvataan todennäköisyyden

linkkifunktiolla muunnettua arvoa lineaarisen mallin avulla. Yleistetyssä lineaarisessa sekamallissa lineaarinen malli sisältää satunnaisvaikutuksia, meidän tapauksessamme satunnaisia taimikko- ja lohkovaiikutuksia.

Vaikka oltiin kiinnostuneita kontrollisyönnin vaikutuksesta käsiteltyjen taimien vaurioitumiseen, kontrollitaimien mitattua syöntiä ei voi laittaa suoraan kovariaatiksi malliin kahdesta syystä. Ensinnäkin jos mitattu syönti on tavallisena lineaarisena selittäjänä, saadaan tulokseksi malli, jossa käsiteltyjen taimien vaurion todennäköisyys on mallin mukaan kohtuullisen suuri, vaikka kontrollitaimien syönti olisi nolla. Tämä on epäloogista. Tämä voitaisiin korjata laittamalla selittäjäksi esim. mitatun kontrollitaimien syönnin (+ pienen vakion) logaritmi selittäjäksi. Mutta näin saadaan silti harhainen malli, koska mitattu syöntipaine sisältää satunnaista mittausvirhettä, ja tässäkin tapauksessa selittäjän satunnainen mittausvirhe aiheuttaa harhaa.

Mallitusongelma voitiin kuitenkin ratkaista yksinkertaisesti kaksikulotteisen yleistetyn lineaarisen sekamallin avulla. Laadittiin rinnakkaiset mallit sekä kontrollitaimien että käsiteltyjen taimien syönnille. Käsiteltyjen taimien syönnin mallissa selittäjänä oli taimen etäisyys humusreunaan. Molemmissa malleissa oli mukana satunnainen taimikkovaikutus ja satunnainen lohkovaiikutus, joiden varianssit voidaan estimoida. Kun molemmat mallit estimoidaan simultaanisesti, saadaan estimaatit myös kummankin mallin satunnaisvaikutusten yhtälöiden välisille kovariansseille.

Mallien parametrien estimoinnin jälkeen käsiteltyjen taimien syönnin todennäköisyys voidaan ennustaa kontrollitaimien syönnin todennäköisyyden avulla seuraavasti. Jos kontrollitaimen syönnin todennäköisyys on annettu (oletettu), niin kontrollitaimien mallista voidaan ratkaista, mikä on ko. taimikon satunnainen taimikkovaikutus. Käyttäen hyväksi satunnaisvaikutusten kovarianssia, voidaan ennustaa käsiteltyjen taimien taimikkovaikutus parhaan lineaarisen ennustimen avulla. Käänteislinkkifunktion avulla tämä satunnaisvaikutus voidaan muuttaa todennäköisyydeksi. Näillä kolmella askeleella voidaan siten käsiteltyjen taimien vaurion todennäköisyys ennustaa syöntipaineesta (kuva 1). Kun syöntipaine lähestyy ykköstä, mallin mukaan myös käsiteltyjen taimien vaurioitumistodennäköi-



**Kuva 1.** Käsiteltyjen taimien vaurion todennäköisyys P2 kontrollitaimien vaurion todennäköisyyden P1 funktiona (keskimäinen yhtenäinen viiva). Ylin ja alin yhtenäinen viiva kuvaavat 95%:n luottamusväliä. Katkoviivat saadaan, kun etäisyys humusreunaan on keskimääräinen arvo  $\pm$  keskihajonta.

syys lähestyy ykköstä. Käytetyn aineiston avulla ei voida päätellä, onko tämä loogista vai ei.

Syöntipaineen malli kertoo myös, mikä on syöntipaineen jakauma. Ottamalla huomioon sekä syöntipaineen jakauma, ennustettu käsiteltyjen taimien vaurioitumistodennäköisyys ja käsittelykustannus, voidaan käsittelyn hyödyllisyyttä analysoida kvantitatiivisesti.

Käsittelypäätös on aina tehtävä ennen kuin voidaan kontrollitaimien avulla mitata syöntipainetta. Menetelmän muissa mahdollisissa sovelluksissa saattaa olla tarpeen ennustaa käsittelyn vaikutusta havaitun kontrollisyöntiä vastaavan suureen suhteellisen osuuden avulla. Tämä voidaan tehdä simuloinnin avulla julkaisussa esitetyllä tavalla.

■ VTT Juha Lappi & MTT Jaana Luoranen. Luonnonvarakeskus, Suomenjoki  
Sähköposti juha.lappi@luke.fi

Pekka Punttila, Olli Autio,  
Janne S. Kotiaho, D. Johan Kotze,  
Olli J. Loukola, Norbertas Noreika,  
Anna Vuori ja Kari Vepsäläinen

## Rämeiden ojituksen ja ennallistamisen vaikutukset elinympäristön rakenteeseen, kasvillisuuteen ja muurahaisiin

Seloste artikkelista: Punttila, P., Autio, O., Kotiaho, J.S., Kotze, D.J., Loukola, O.J., Noreika, N., Vuori, A., Vepsäläinen, K. (2016). The effects of drainage and restoration of pine mires on habitat structure, vegetation and ants. *Silva Fennica* 50(2), article id 1462.  
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1462>

**E**telä-Suomen soista lähes 80% on ojitettu. Siksi luonnontilaiset suot ovat aiempaa pienempiä ja entistä etäämpänä toisistaan. Suoeliölajiston ja suoluontotyypin uhanalaistuminen on synnyttänyt tarpeen ennallistaa ojitettuja soita. Ennallistamalla elinympäristö pyritään palauttamaan luonnontilaan – soiden osalta tavoitteena on itseään ylläpitävä, turvetta kerryttävä ja ravinteita pidättävä suoekosysteemi. Tutkimuksemme testasi oletusta, että luontainen suoelinympäristö ja sen lajit elyvät, kun vedenpinta nostetaan luontaiselle tasolle ojat tukkimalla ja palautetaan luontaisesti harva ja matala puustorakenne voimakkaasti harvennushakkuin.

Tutkimuksen yhdeksän suoalueetta sijaitsivat Pohjois-Karjalassa ja Keski-Suomessa. Kaikki alueet kuuluivat osittain Natura 2000 -verkostoon, ja osia soista oli metsäojitettu 1960–70-luvuilla. Kullakin suoalueella oli kolme käsittelyä: 1) luonnontilainen (ojittamaton) suo, 2) ojitettu suo ja 3) suo, jonka ennallistamiseksi ojat oli tukittu ja puustoa hakattu. Ennen ennallistamisen aloittamista jokaiselle käsittelylle suunniteltiin kaksi 250 metrin otantalinjaa, joille perustettiin näyteenottopisteet puustolle, puun taimille ja suon pienmuodoille sekä kasvillisuudelle. Otanta toistettiin 1–3 vuotta ennallistamisen aloittamisesta, jolloin otantaan lisättiin pohjavedenpinnan

mittaukset ja muurahaisten kuoppapyyntit.

Tutkimuksemme pääkohde, muurahaiset, ovat otollinen eliöryhmä, kun selvitetään maankäytön muutosten vaikutuksia ja arvioidaan ekosysteemitason pitkäaikaismuutoksia. Ne ovat herkkiä elinympäristön laadun muutoksille ja niiden ekologinen merkitys monissa ekosysteemeissä on suuri. Ne vaikuttavat merkittävästi muihin eliölajeihin: muurahaisten aktiviteetit sekä pesä- ja polkurakenteet voivat vaikuttaa paljon siihen, millainen elinympäristö on muiden lajien kannalta – tässä mielessä pitkäikäiset, paikallaan pysyvät muurahaisyhteiskunnat vertautuvat kasvikunnan avainlajeihin, esimerkiksi puihin. Suot ovat tärkeitä elinympäristöjä vähintään kolmannekselle Suomen 55 luonnonvaraisesta muurahaislajista, mutta silti boreaalisten soiden muurahaislajistosta ja ojituksen vaikutuksista siihen on tehty vain muutamia tutkimuksia – ennallistamisen ja sitä seuraavan kasvillisuussukcession eli -seuraannon vaikutuksista muurahaislajistoon ei ole aiempia tutkimuksia. Selosteessamme keskitymme muurahaistyöläisaineistolla saatuihin tuloksiin. Työläinen on varma merkki siitä, että pesä sijaitsee yhteiskunnan työläisten ravinnonhakusäteen sisällä, mutta kuningatar tai koiras on saattanut lentää paikalle kaukaakin.

Ennallistaminen palautti puuston rakenteen lähelle luonnontilaa ja pohjavesi nousi ojitattomien soiden tasolle. Mätäs-, väli- ja rimpipintojen osuudet olivat lähentyneet luonnontilaa, mutta eivät vielä saavuttaneet sitä. Muurahaislajeja löysimme 20. Muurahaisten kokonaislajimäärä oli suurin ojitetuilla soilla. Aineiston selkeimmät metsälajit, metsähevosmuurahainen (*Camponotus herculeanus* (Linnaeus, 1758) ja ryppeviholainen (*Myrmica ruginodis* Nylander, 1846), olivat yleisempiä ojitetuilla soilla (muuttumilla ja turvekankailla) kuin luonnontilaisilla suotyypeillä, mutta ne olivat yleisiä myös ennallistetuilla soilla. Suomuurahaislajeja oli eniten luonnontilaisilla soilla. Yksinomaan tai pääasiassa soilla elävistä muurahaisista eli suospesialisteista löysimme suomustahaista (*Formica picea* Nylander, 1846) lähes pelkästään luonnontilaisilta soilta, mutta mustapäämuurahaista (*Formica uralensis* Ruzsky, 1895) ja polvisarvivihoilaista (*M. scabrinodis* Nylander, 1846) myös muuttumilta ja turvekankailla. Muiden lajien yleisyyksissä emme löytäneet eroja käsittelyjen välillä.

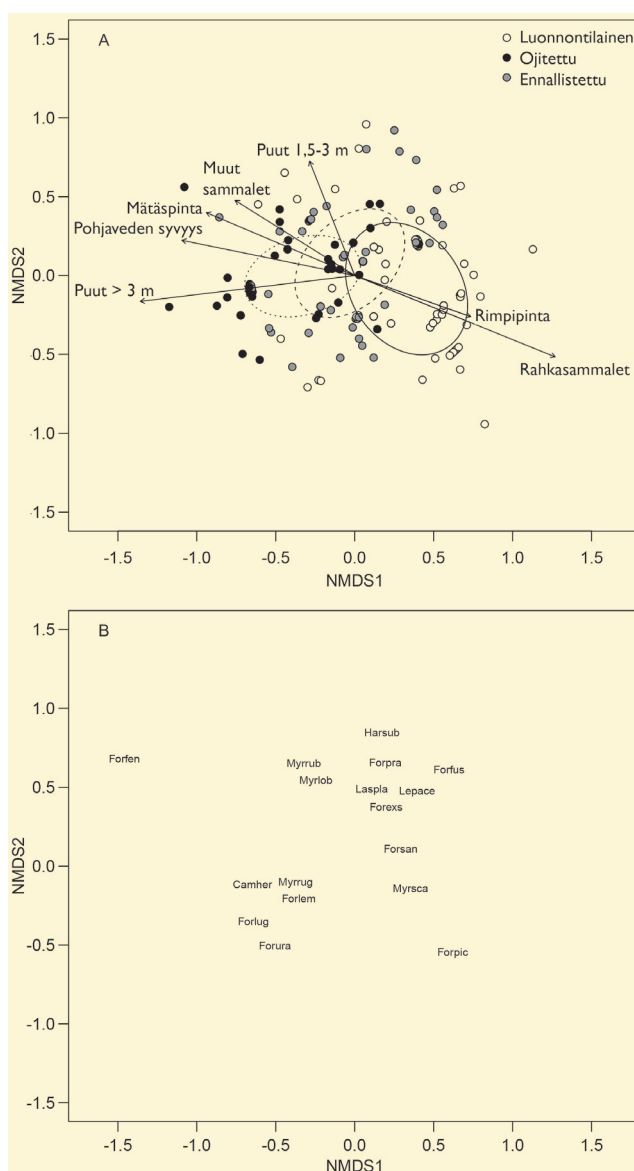
Muurahaisaineiston NMDS-ordinaatio, joka esitellään kuvassa 1, osoitti, että ojitettujen soiden muurahaislajiston koostumus erosi luonnontilaisista soista, mutta kaikissa kolmessa käsittelyssä näytteenottopisteiden välinen vaihtelu oli suurta. Ennallistettujen soiden näytteet sijaitsivat ordinaatiossa ojitettujen ja luonnontilaisten soiden välimaastossa. Ordinaatiossa näkyi jatkumo luonnontilaisilta soilta ojitetuille soille, ja ennallistetut suot sijaitsivat jatkumon keskivaiheilla. Useat elinympäristön rakennetta kuvaavat muuttujat suhteutuivat tilastollisesti merkittävästi ordinaatioavaruuteen: Rahkasammalten ja rimpipinnan peittävyudet kasvoivat luonnontilaisten soiden näytteenottopisteitä kohti muiden muuttujien kasvaessa suunnilleen vastakkaiseen suuntaan, soiden ojitusta kuvaten. Muun muassa puustoisuus ja pohjavedenpinnan syvyys kasvoivat ojitettujen soiden näytteenottopisteitä kohti. Puuston varjostusta sietävät metsälajit metsähevosmuurahainen ja ryppeviholainen esiintyivät taajimmin puustoisimissa näytteenottopisteissä ordinaation vasemmassa alaosassa. Avointen, nuorten sukessiovaiheiden metsien ja soiden lajit – kuten metsämauriainen (*Lasius platythorax* Seifert, 1991), karvaliekovihoilainen (*Leptothorax acervorum* (Fabricius, 1793), verimuurahainen (*F. sanguinea* Latreille, 1798) ja karvaloviniska (*Formica exsecta* Nylander, 1846) – luonnehtivat harva- ja vähäpuustoisempia näytteenottopisteitä ordinaation oikeassa yläosassa. Avoimia luonnontilaisia soita luonnehtivat suospesialistit suomustahainen ja polvisarvivihoilainen ordinaation oikeassa alaosassa. Suospesialisteista suomustahainen olikin selvästi kärsinyt ojituksesta. Sen sijaan mustapäämuurahainen näytti hyötynneen ainakin väliaikaisesti ojituksesta, ja ordinaatiossa tämä sijaitsi lähempänä metsälajeja kuin muita suospesialisteja. Puolet mustapäämuurahaisen esiintymistä olikin ojitetuilta soilta. Aikaisemmissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että myös tämä laji (samoin kuin polvisarvivihoilainen) häviävät ojitetuilta soilta pidemmällä aikavälillä.

Yleisesti ottaen havaitsimme, että ojitus ja ennallistaminen vaikuttivat odotusten mukaisesti suoelinympäristön rakenteeseen. Näitä vaikutuksia näimme sekä kasvillisuudessa että muurahaisyhteisöissä samalla tavalla kuin eräissä yhteiskuntahyönteisiin kuulumattomissa hyönteisryhmissä on havaittu. Yhdessä nämä tulokset tukevat ajatusta siitä, että

**Kuva 1.** Muurahaistyöläisaineiston kaksiulotteinen NMDS-ordinaatio (A) näytteenottpisteille ja (B) lajeille.

**(A).** Luonnontilaisten (valkoiset pisteet), ojitettujen (mustat pisteet) ja ennallistettujen (harmaat pisteet) rämeiden näytteenottpisteiden sijainti ordinaatioissa. Hajontaellipsit osoittavat luonnontilaisten (yhtenäinen viiva), ojitettujen (pisteiviiva) ja ennallistettujen (katkoviiva) rämeiden näytteenottpisteiden painotettujen keskiarvojen keskijajonnan. Nuolet esittävät ordinaatioavaruuteen sovitettujen ympäristömuuttujien tilastollisesti merkitsevän ( $p < 0,001$ ) korrelaation suunnan näytepisteiden arvojen kanssa, ja nuolen pituus kuvaa korrelaation voimakkuutta.

**(B).** Muurahaislajien sijainti ordinaatioissa. Lajinimien lyhenteet: Camher = metsähevosmuurahainen (*Camponotus herculeanus* (Linnaeus, 1758)), Forexs = karvaloviniska (*Formica exsecta* Nylander, 1846), Forfen = suomenloviniska (*Formica fennica* Seifert, 2000), Forfus = etelänmustahainen (*Formica fusca* Linnaeus, 1758), Forlem = pohjanmustahainen (*Formica lemni* Bondroit, 1917), Forlug = karvakusiainen (*Formica lugubris* Zetterstedt, 1838), Forpic = suomustahainen (*Formica picea* Nylander, 1846), Forpra = ketokusiainen (*Formica pratensis* Retzius, 1783), Forsan = verimuurahainen (*Formica sanguinea* Latreille, 1798), Forura = mustapäümüurahainen (*Formica uralensis* Ruzsky, 1895), Harsub = suurpäümüurahainen (*Harpagoxenus sublaevis* (Nylander, 1849)), Laspla = metsämauriainen (*Lasius platythorax* Seifert, 1991), Lepace = karvaliekomuurahainen (*Leptothorax acervorum* (Fabricius, 1793)), Myrlob = liuskarviviholainen (*Myrmica lobicornis* Nylander, 1846), Myrrub = siloviholainen (*Myrmica rubra* (Linnaeus, 1758)), Myrrug = ryppyviholainen (*Myrmica ruginodis* Nylander, 1846) ja Myrsca = polvisarviviholainen (*Myrmica scabrinodis* Nylander, 1846).



elinympäristön rakenteen ennallistamisella voidaan palauttaa heikentyneen elinympäristön kasvi- ja eläinlajisto: Soiden ennallistaminen johti suokasvil-lisuuden ja -muurahaistolajiston nopeaan palautumi-seen. Suospesialistimuurahaisten kohdalla tulokset kuitenkin vaihtelivat, ja näiden osalta tarvitaankin ennallistamisen pitkäaikaiseurantoja. Muurahaistet muodostavat monivuotisia yhteiskuntia, joiden elin-kaaret ovat pitkiä, joten myös ennallistamisen vai-kutukset voivat tulla näkyviin pitkän ajan kuluessa.

Vaikka ennallistamisen ja sitä seuraavan kasvil-lisuussukcession vaikutuksia muurahaistolajistoon ei ole aiemmin tutkittu, pystymme omien tulostemme ja aiempien ojitettuja soita koskevien tutkimusten pohjalta hahmottelemaan joitain yleisperiaatteita soiden ennallistamisen suunnitteluun. Pohjaveden pinnan nosto ja puuston voimakas harventaminen ovat avaintekijöitä soiden muurahaistyhteisöjen palauttamisessa. Korkealla oleva pohjavesi estää kivennäismaiden voimakkaimpien kilpailijoiden,

territoriaalisten (laajaa ravinnonhakualuettaan aggressiivisesti puolustavien) kusiaisten eli kekomuurahaislajien talvehtimisen, ja näin soille ominaiset lajijhteisöt omine territoriaalisine lajeineen voivat kehittyä ennallistetuille alueille. Tärkeää on myös se, ettei kaadettuja puuta ja hakkuutähteitä jätettäisi ennallistettaville alueille, sillä ne tarjoavat oivallisia pesäpaikkoja yleislajeille ja metsäsukcession varhaisvaiheiden lajistolle. Useimmat havumetsien muurahaislajit voivat käyttää tai jopa vaativat kuollutta puuta pesänrakennukseensa. Tämä lajisto saattaa kaadettujen puiden ja hakkuukantojen luomien pesäpaikkojen tarjoaman kilpailuedun avulla estää tai hidastaa varsinaisten suospesialistilajien asettumista alueelle.

Hävinneiden lajien mahdollinen palautuminen ennallistetuille soille ja siihen kuluva aika riippuvat monista tekijöistä. Lajien leviämiskyky vaihtelee suuresti. Mitä kauempana elinkelpoiset suot ovat toisistaan sitä harvemmin ja hitaammin suolta hävinnyt suospesialisti päätyy onnistuneesti ennallistetulle suolle. Mitä pienempi luonnontilainen suo on, sitä pienempi sen suospesialistien populaatiot ovat ja sitä epätodennäköisemmin niistä on lähdepopulaatioiksi ympäröivien alueiden asuttamisessa.

Suomuurahaislajien leviämiskyvystä ei tiedetä kovin paljon, joten on vaikea ennustaa niiden kykyä asuttaa uudelleen sellaiset ennallistetut suot, josta ne ovat hävinneet ojituksen vuoksi. Suomustahaisen leviäminen vaikuttaa aiempien tutkimusten perusteella heikolta soiden välillä, mutta myös saman suoalueen sisällä – löysimme lajia lähes pelkästään luonnontilaisilta soilta. Suomustahaisen palautuminen ennallistetulle suolle edellyttäneen hyvinvoivien populaatioiden läheisyyttä. Suomuurahaisyhteisöjen kannalta suomustahainen on erityisen tärkeä siksi, että lajia tarvitsevat eräät muut suospesialistit voidakseen asuttaa uusia alueita: rämelöviniskan (*Formica forsslundi* Lohmander, 1949) ja mustapäämuurahaisen kuningattaret perustavat yhteiskuntansa loisimalla tiettävästi vain suomustahaisen pesässä.

Tutkimuksessamme siis testasimme, voidaanko pohjaveden pinnan tason ja luontaisen harvapuus- toisuuden palauttamisella hakkuin palauttaa myös luonnontilaisten soiden luontainen kasvillisuus ja muurahaislajisto. Emme pysty vielä arvioimaan ennallistamisen pitkäaikaisvaikutuksia, mutta lyhyellä aikavälillä – tutkimuksessamme 1–3 vuotta ennallis-

tamisen alkamisesta – vaikutukset olivat myönteisiä. Tähän ei välttämättä päästä vakavasti heikentyneiden suoekosysteemien kohdalla. Tutkimiemme soiden nopeaa ennallistumista selittänee se, että soiden toimiva pintakerros ja turveydin olivat yhä jäljellä, ja suolajisto pystyi asuttamaan ennallistettuja kohteita läheisiltä luonnontilaisilta alueilta. Erityisesti Etelä-Suomessa luonnontilaisten soiden voimakas väheneminen ja soiden laadun heikentyminen ovat kasvattaneet elinkelpoisten suoelinympäristöjen etäisyyksiä toisistaan niin paljon, että monien suospesialistien osalta ennallistettujen soiden uudelleen asutus on käynyt hyvin epätodennäköiseksi, ja monet lajeista onkin luokiteltu alueellisesti uhanalaistuneiksi. Mikäli suoverkoston heikkeneminen jatkuu, tällaiset lajit hävinnevät yhä laajemmilta alueilta. Erityisen vaateliaita suomuurahaislajeja ovat yhteiskuntaloinena elävä periloisviholainen (*Myrmica karavajevi* (Arnoldi, 1930)) sekä pesäloisinnan kautta pesänsä perustava koturiviholainen (*M. vandeli* Bondroit, 1920). Molemmat lajit vaativat loisittavikseen polvisarviviholaisen populaatioita, joiden pesätiheys on suuri, ja Suomessa polvisarviviholainen täyttää tämän ehdon useilla luonnontilaisilla soilla.

## Kirjallisuutta

- Noreika, N., Kotiaho, J.S., Penttinen, J., Punttila, P., Vuori, A., Pajunen, T., Autio, O., Loukola, O.J., Kotze, D.J. (2015). Rapid recovery of invertebrate communities after ecological restoration of boreal mires. *Restoration Ecology* 23: 566–579.
- Noreika, N., Kotze, D.J., Loukola, O.J., Sormunen, N., Vuori, A., Päivinen, J., Penttinen, J., Punttila, P., Kotiaho, J.S. (2016). Specialist butterflies benefit most from the ecological restoration of mires. *Biological Conservation* 196: 103–114.
- Punttila, P., Autio, O., Kotiaho, J.S., Kotze, D.J., Loukola, O.J., Noreika, N., Vuori, A., Vepsäläinen, K. (2016). The effects of drainage and restoration of pine mires on habitat structure, vegetation and ants. *Silva Fennica* 50(2) article 1462. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1462>.

■ Pekka Punttila, Suomen ympäristökeskus, Helsinki  
Sähköposti [pekka.punttila@ymparisto.fi](mailto:pekka.punttila@ymparisto.fi)

Seppo Nevalainen, Juho Matala,  
Kari T. Korhonen, Antti Ihalainen ja  
Ari Nikula

## Hirvituhot lisääntyneet – haapavaltaiset metsiköt alttiimpia

Julkaisu: Nevalainen, S., Matala, J., Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Nikula, A. (2016). Moose damage in National Forest Inventories (1986–2008) in Finland. *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1410.

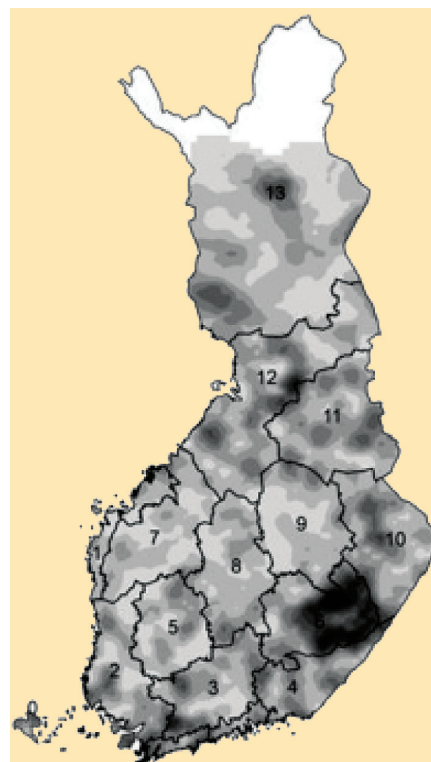
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1410>

**H**irvituhojen esiintymistä tutkittiin Valtakunnan metsien kahdeksannen, yhdeksannen ja kymmenennen inventoinnin aineistoista vuosilta 1986–2008. Aineistoon sisältyi lähes 100 000 kehitysluokkiin 2–4 (pienet taimikot–nuoret kasvatusmetsät) kuulunutta metsikköaluetta koko maasta.

Hirvien aiheuttamien metsätuhojen määrä yli kaksinkertaistui vuodesta 1986 vuoteen 2008 mennessä. Vuonna 1986 toteutetussa Valtakunnan metsien kahdeksannessa inventoinnissa tuhoja oli vajaassa neljässä prosentissa ja kymmenennessä inventoinnissa vuonna 2008 vajaassa yhdeksässä prosentissa kehitysluokkien 2–4 metsiköitä. Näiden metsiköiden hirvituhojen osuus oli keskimäärin kuusi prosenttia koko ajanjaksolla 1986–2008. Valtaosa tuhoista sattui mäntyvaltaisissa metsiköissä.

Hirvituhojen määrä lisääntyi koko Suomessa. Valtakunnan metsien kymmenennen inventoinnin koealoilla suurin hirvituhojen keskittymä tavattiin Kaakkois-Suomessa, mutta vahinkokeskittymiä esiintyi ympäri maata. Hirvi tuhojen lisääntyminen ei suoraan seurannut hirvikannassa tapahtuneita muutoksia. Yli kaksi kolmasosaa vahingoista oli inventointihetkellä yli viisi vuotta vanhoja. Siten 2000-luvun alun suuri hirvikanta heijastuu viiveellä näissä tuloksissa.

Eri metsikkötekijöiden vaikutusta suhteelliseen hirviturhoriskiin tutkittiin mm. yleistettyjen lineaaristen sekamallien avulla. Metsikön puulajikoostumus vaikutti tuhojen määrään. Herkimpiä tuhoille



**Kuva 1.** Hirvituhojen esiintyvyys kehitysluokkien 2–4 metsiköissä Valtakunnan metsien 10. inventoinnin mukaan vuosina 2004–2008. Tummimmilla alueilla tuhoja oli yli 30%:lla taimikoista. Kartalla olevat alueet ovat entisiä metsälautakuntia.

ovat metsät, joissa haapa on valta- tai sivupuulaji. Haapavaltaisissa metsiköissä hirviturhoriski oli mallin mukaan 17-kertainen mäntyvaltaisiin metsiköihin verrattuna. Mäntyvaltaisissa sekapuustoissa oli enemmän tuhoja kuin puhtaissa männiköissä. Mänty- ja koivuvaltaisissa metsiköissä hirvituhoja oli suunnilleen saman verran.

Hirvituhoja esiintyy enemmän viljelemällä syntyneissä metsiköissä kuin luontaisesti syntyneissä metsiköissä. Muita hirviturhoriskiä lisääviä tekijöitä ovat metsikössä suoritettu maanmuokkaus ja todettu harvennustarve. Kivennäismailla esiintyi enemmän tuhoja kuin turvemilla. Kasvupaikan viljavuuden ja hirvituhojen välillä ei havaittu suoraa yhteyttä.

■ Seppo Nevalainen, Luonnonvarakeskus, Joensuu  
Sähköposti [seppo.nevalainen@luke.fi](mailto:seppo.nevalainen@luke.fi)



Tiina Laine, Kalle Kärhä ja  
Antti Hynönen

## Koneellinen metsänistutus Suomessa 2013 ja sen menestystekijät

Seloste artikkelista: Laine, T., Kärhä, K. & Hynönen, A: A survey of the Finnish mechanized tree-planting industry in 2013 and its success factors. *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1323.  
<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1323>

Istutuskoneita on ollut käytössä Suomessa jo 1970-luvulta lähtien. Ensimmäiset koneet olivat pelkkää istutusta tekeviä (Silva Nova, Serlachius), mutta niiden huonon kustannuskilpailukyvyntakia ne korvattiin 1980-luvulta lähtien nykyisenkaltaisilla peruskoneen puomin päähän asennettavilla istutuslaitteilla (Bracke, M-Planter, Risutec). Edellinen selvitys koneellisen istutuksen toimintakentästä tehtiin vuonna 2003 (Vartiamäki 2003), ja tällä hetkellä käytössä olevien istutuskoneiden lukumäärän selvittämiseksi tehtiin tutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää koneellisen istutuksen nykytila Suomessa vuonna 2013. Lisäksi koneellisen istutuksen kriittiset menestystekijät selvitettiin sekä koneyritysten tulevaisuuden näkymiä kartoitettiin. Tutkimusta varten selvitettiin ja haastateltiin henkilökohtaisesti kaikki koneellista istutustyötä tehneet yrittäjät vuonna 2014 strukturoidulla haastattelulomakkeella. Yrittäjistä kaksi ei osallistunut laajaan haastattelututkimukseen, mutta puhelimitse he vastasivat suppeampaan kyselyyn, jossa kysyttiin koneistutusta koskevat keskeisimmät tunnusluvut.

Tutkimuksen mukaan vuonna 2013 Suomessa työskenteli 22 koneyritystä istuttaen 31 istutuskoneella. Yleisin käytössä oleva istutuslaite oli Bracke P11.a (18 kpl); käytössä oli myös M-Planter (11 kpl) ja Risutec (2 kpl) -istutuslaitteita. Istutuslaitteista kaksi oli hakkuukoneen puomin päässä ja loput kaivukoneessa. Istutuskoneilla istutettiin 4,7 miljoonaa tainta ja 2663 hehtaaria vuonna 2013. Keskimäärin yksi istutuskone istutti 151 242 tainta ja 86 hehtaaria. Koneyrittäjien suurin asiakasryhmä

oli isot metsätalous- ja -teollisuustoimijat (86,2 %) metsänhoitoyhdistysten osuuden ollessa 8,1 % ja yksityismetsänomistajien 5,7 %.

Suurin osa yrittäjistä aloitti istutuskautensa toukokuun alussa viikoilla 18–20 ja lopetti syyskuun puolivälissä viikoilla 40–42. Istutuskauten pituus oli keskimäärin 19,8 viikkoa (eli 138 päivää tai 4,9 kuukautta). Istutuskauten aikana oli taukoa istutustyöstä keskimäärin 1,2 viikkoa, jonka aikana 41,7 % peruskoneista teki muita töitä, kuten maanmuokkautusta tai ojitusta, keskimäärin 0,8 viikkoa. Istutuskauten ulkopuolella peruskoneilla tehtiin keskimäärin 18,6 viikkoa (eli 130 päivää tai 4,7 kuukautta) muita töitä. Keskimäärin istutuskoneen tuottavuus (olettaen 5-päiväisen työviikon) oli 0,92 hehtaaria ja 1 614 tainta päivässä.

Koneistutusyritysten toimintasäde oli keskimäärin 62 km ja keskimääräinen siirtomatka työmaiden välillä 22 km. Työmaan keskikoko oli keskimäärin 4,7 ha ja 62 %:lla työmaista hakkuutähteet oli korjattu ja 33 %:lla kannot nostettu. Suurin osa taimista (77 %) kuljetettiin taimitarhalta koneyrityksen ylläpitämään välivarastoon, josta istutuskoneen kuljettaja kuljetti taimet työmaalle. Koneellisesti istutetuista taimista 90 % oli kuusta, loput mäntyä. Lähes kaikki koneyritykset seurasivat työjäljen laatua omavalvonnalla.

Koneyrittäjät nimesivät listatuista 12 kriittisestä menestystekijästä koneellisen istutuksen tuottavuuteen ja kannattavuuteen eniten vaikuttaviksi tekijöiksi istutuskoneen kuljettajan hyvän ammattitaidon, istutustyön hyvän laadun, riittävät vuotuiset koneistutustyömäärät ja hakkuutähteiden korjuun työmailta. Parhaiten 12 listatusta tekijästä toteutui vuonna 2013 istutustyön hyvä laatu ja työmaiden ketjutus. Vastaavasti haastatellut yrittäjät kokivat, että eniten parannettavaa olisi siinä, että työmaat olisivat vähäkivisiä ja niiltä olisi hakkuutähteet korjattu sekä istutuskoneen kuljettajien paremmassa ammattitaidossa (eli kuilu vuoden 2013 toteuman ja tärkeyden välillä oli suurin).

Istutuskoneyrittäjät eivät olleet tulevaisuudessa valmiita kasvattamaan toiminta-aluettaan, investoimaan uuteen istutuskonekalustoon tai laajentamaan toimintaansa. Moni istutuskoneyrittäjä uskoi kuitenkin koneellisen istutuksen yleistyvän tulevaisuudessa yksityismetsissä ja puolet yrittäjistä oli sitä mieltä, että yksityismetsänomistajille tulisi järjestää



Ruotsalaisvalmisteinen Bracke oli yleisin Suomessa käytetty istutuslaite vuonna 2013. Kuva: Mikko Syri.

nykyistä enemmän koneistutustyönäytöksiä. Lisäksi moni yrittäjä oli halukas verkostoitumaan muiden istutuskoneyrittäjien kanssa. Yrittäjien esille nostamat koneellisen istutuksen kehitys- ja tehostamiskohteet voitiin jakaa neljään kategoriaan: 1) tiedottaminen ja markkinointi koneistutuksesta, 2) nykyisten istutuskoneiden kehittäminen, 3) koko koneistutusketjun tehostaminen ja yhteistyö toimijoiden välillä sekä 4) kohdevalinnan parantaminen.

Vuonna 2003 koneellista istutusta teki 14 yrittäjää 16 istutuskoneella. Käytössä oli 10 Brackea, kaksi Ecoplanteria ja neljä Lännen FP-160 -istutuslaitetta, jotka olivat kuuden hakkuukoneen, neljän kaivukoneen ja kolmen kuormatraktorin puomin päässä. Koneelliset istutusmäärät ovat kaksinkertaistuneet kymmenessä vuodessa: vuonna 2003 istutettiin 1 420 ha, joka vastasi 1,6 % kaikista istutuksista, kun vuonna 2013 vastaavat luvut olivat 2663 ha ja 3,5 %.

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, että koneellisen istutuksen kustannustehokkuuden parantaminen on tärkeää istutuskoneyrittämisen kannattavuuden parantamiseksi. Tähän päästään mm. vuosittaisia työmääriä kasvattamalla ja nykyisin käytössä olevia istutuskoneita kehittämällä. Myös työmaiden huolellinen valinta koneelliseen istutukseen on tärkeässä roolissa. Koneelliseen istutukseen tulisi valita ensisijaisesti kohteita, joilta hakkuutahteet ja kannot on kerätty ja joiden kivisyys on vähäinen. Lisäksi koneistutuksen yleistymiseksi tarvitaan markkinointiviestintää erityisesti yksityismetsänomistajille ja metsäammattilaisille. Koneellisen istutuksen yleistymisen pienentäisi yrittäjien toiminta-aluetta, mikä parantaisi koneellisen istutuksen tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. Lisäksi tulevaisuudessa on tarvetta kokonaan uusille istutuskoneille, jotka moninkertaistaisivat koneellisen istutuksen tuottavuuden ja vähentäisivät kuljettajan merkitystä tuottavuuden vaihtelussa.

### Kirjallisuutta

- Kärhä, K., Hynönen, A., Laine, T., Strandström, M., Sipilä, K., Palander, T., Rajala, P.T. (2009). Koneellinen metsänistutus ja sen tehostaminen Suomessa. Metsätehon raportti 233. 42 s. Saatavilla: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_233\\_Koneellinen\\_metsanistutus\\_ja\\_sen\\_tehostaminen\\_kk\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_233_Koneellinen_metsanistutus_ja_sen_tehostaminen_kk_ym.pdf)
- Laine, T., Kärhä, K., Hynönen, A. (2016). A survey of the Finnish mechanized tree-planting industry in 2013 and its success factors. *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1323. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1323>
- Vartiamäki, T. (2003). Koneellinen metsänistutus vuonna 2003 – Kyselytutkimuksen tulokset. Metsätehon raportti 154. 14 s. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_154.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_154.pdf)

■ Tiina Laine: Luonnonvarakeskus, Suonenjoki;  
Kalle Kärhä, Stora Enso Oyj Metsä Helsinki;  
Antti Hynönen, Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Joensuu  
[tiina.laine@luke.fi](mailto:tiina.laine@luke.fi); [kalle.karha@storaenso.com](mailto:kalle.karha@storaenso.com);  
[hynonena@gmail.com](mailto:hynonena@gmail.com)