

Metlan työraportteja

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp255.htm>

ISBN 978-951-40-2409-2 (PDF)

ISSN 1795-150X

Metsänuudistaminen pohjoisen erityisolosuhteissa

Mikko Hyppönen ja Sisko Salminen (toim.)

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111

sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111

sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Hyppönen, Mikko & Salminen, Sisko (toim.).			
Nimeke Metsänuudistaminen pohjoisen erityisolosuhteissa			
Vuosi 2013	Sivumäärä 92	ISBN 978-951-40-2409-2 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Pohjois-Suomen alueyksikkö / Metsänuudistaminen pohjoisen erityisolosuhteissa 3482 / Pohjois-Suomen metsien uudistaminen 7319			
Hyväksynyt Leena Finer			
Tiivistelmä <p>Metsätalouden ja metsänuudistamisen olosuhteet poikkeavat Lapissa ja muualla Pohjois-Suomessa monella tavalla Etelä-Suomen olosuhteista. Pohjoisessa ilmasto-oloja luonnehtii varsinkin ilmaston muutuksessa äärevyys, kylmyys, valoisuus ja humidisuus sekä kasvupaikkatekijöitä suuri vaihtelu pohjois-eteläsuunnassa, maaston korkeudessa, pintakasvillisuudessa ja maaperässä. Pohjoisessa metsätuhoriskit ovat suuremmat (talvituhosienet, kylmyys, energiapula) kuin etelässä. Erityisen poikkeavia olosuhteet ovat pohjoisella metsänrajaseudulla suojametsäalueella sekä sijainniltaan ympäristöään selvästi korkeammilla alueilla, varsinkin vaarojen lakialueilla. Olosuhteet poikkeavat runsaasti myös taloudellisesti, sillä pohjoisessa metsien uudistuminen ja kasvu on hidasta. Sen myötä myös tuotos ja tuotto jäävät pieniksi. Pohjoisessa on myös useampia uudistuvien luonnonvarojen käyttöön perustuvia, osin metsätalouden kanssa kilpailevia elinkeinoja kuin etelässä. Mainituista tekijöistä johtuu, että samat metsänuudistamisen menetelmät eivät sellaisenaan sovellu pohjoiseen ja etelään. Tässä raportissa esitellään kahden tutkimushankkeen tuloksia.</p> <p>Hankkeiden yleistavoitteena oli tutkia lähinnä luontaiseen uudistamiseen perustuvia metsänuudistamismenetelmiä, jotka soveltuvat Pohjois-Suomen hidaskasvuisten ja vähätuottoisten metsien uudistamiseen, jotka perustuvat pieniin uudistamiskustannuksiin ja ovat silti kannattavia, ja jotka aiheuttavat mahdollisimman vähän haittaa metsien muille käyttömuodoille ja luonnon monimuotoisuudelle.</p> <p>Hankkeiden päätyttyä pidettiin keväällä 2012 loppuseminaari, jossa tutkijat esittelivät tutkimustuloksiaan. Esiteltyjen tutkimusten tuloksia on koottu lyhyehköinä artikkeleina tähän koostejulkaisuun. Osa kirjoituksista perustuu julkaistuun tietoon, osassa kirjoituksia esitellään alustavia tuloksia.</p>			
Asiasanat metsänuudistaminen, männyn luontainen uudistaminen, siemensato, kylvö, istutus, suojametsäalue, metsätuho, kustannustehokkuus, poronhoito, poronlaidunnus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Mikko Hyppönen, Metla, Eteläranta 55, 96300 Rovaniemi. Sähköposti mikko.hypponen@metla.fi			
Muita tietoja Julkaisun taiton teki Sisko Salminen, Metla.			

Sisällys

Kirjoittajat	6
Alkusanat	7
Männyn luontaisen uudistamisen edellytykset Pohjois-Suomessa siemensadon näkökulmasta <i>Anu Hilli, Tatu Hokkanen, Juha Hyvönen ja Marja-Liisa Sutinen</i>	8
Pintakasvillisuuden vaikutus männyn luontaiseen uudistamiseen Koillis-Lapissa <i>Pasi Rautio, Mikko Hyppönen, Ville Hallikainen ja Juhani Niemelä</i>	13
Puuston tiheyden vaikutus männikön taimettumiseen Lapissa – alustavia tuloksia väljennyshakkuusta <i>Samuli Salokannel, Mikko Hyppönen ja Ville Hallikainen</i>	20
Poron laidunnuksen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen – alustavia tuloksia <i>Matti Lappalainen, Ville Hallikainen ja Mikko Hyppönen</i>	27
Männyn syyskylvön onnistuminen Lapissa <i>Mikko Hyppönen ja Ville Hallikainen</i>	33
Kivennäismaan ilmatilan vaihtelu ja istutettujen männyntaimien pituuskasvu Lapissa <i>Kari Mäkitalo, Juha Heiskanen, Virpi Alenius ja Kari Mikkola</i>	42
Kuusen levinneisyys Lapissa <i>Marja-Liisa Sutinen, Paavo Närhi, Maarit Middleton, Kari Mikkola, Matti Piekkari, Pekka Hänninen, Mauri Timonen ja Raimo Sutinen</i>	54
Metsien uudistaminen Lapin suojametsäalueella ja Pohjois-Suomen korkeilla mailla <i>Mikko Hyppönen, Risto Jalkanen, Kari Mikkola ja Martti Varmola</i>	59

Uudistamistuloksen vaihtelun vaikutus uudistamisen kustannustehokkuuteen metsänviljelyssä, esimerkki Pohjois-Suomesta <i>Anssi Ahtikoski</i>	66
Sienitaudiksi tervasroso on kiusallinen vitsaus nuorissa viljelymänniköissä Lapissa <i>Risto Jalkanen, Tarmo Aalto ja Pekka Närhi</i>	76
Metsätalouden ja porotalouden vaikutukset maajäkälien määrään <i>Anu Akujärvi, Ville Hallikainen, Mikko Hyppönen ja Eero Mattila</i>	84
Hankkeiden 3482 ja 7319 tuottamat julkaisut	89

Kirjoittajat

Mti (AMK) Tarmo Aalto, Metlan Pohjois-Suomen yksikkö Rovaniemi
MMM Anu Akujärvi, tutkija Suomen ympäristökeskuksessa Helsingissä
MMT, dos. Anssi Ahtikoski, tutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Oulussa
MMT, dos. Ville Hallikainen, erikoistutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
FT Anu Hilli, yliopettaja Oulun ammattikorkeakoulussa Oulussa
MMM Tatu Hokkanen, tutkija Metlan Etelä-Suomen yksikössä Vantaalla
MMT Mikko Hyppönen, erikoistutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
LuK Juha Hyvönen, erikoissuunnittelija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
Pekka Hänninen, erikoistutkija Geologian tutkimuskeskuksessa Otaniemen yksikössä Espoossa
MMT, FT, dos. Risto Jalkanen, erikoistutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
Mti (AMK) Matti Lappalainen teki opinnäytetyön Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
MMT Eero Mattila, erikoistutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
Maarit Middleton, geologi Geologian tutkimuskeskuksen Rovaniemen yksikössä
FM Kari Mikkola, tutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
MMT Kari Mäkitalo, tutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä
Mti (AMK) Juhani Niemelä, metsänhoitoesimies Metsähallituksessa Savukoskella
Paavo Närhi, tutkija Geologian tutkimuskeskuksen Rovaniemen yksikössä
Mti (AMK) Pekka Närhi, Metlan Pohjois-Suomen yksikkö Rovaniemi
Matti Piekkari, eläkkeellä Geologian tutkimuskeskuksen Rovaniemen yksiköstä
FT, dos. Pasi Rautio, tutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
MMM Sameli Salokannel, metsäneuvoja Suomen metsäkeskuksessa Keski-Suomessa
FT, dos. Raimo Sutinen, erikoistutkija Geologian tutkimuskeskuksen Rovaniemen yksikössä
FT, dos. Marja-Liisa Sutinen, erikoistutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
MH, Mauri Timonen, tutkija Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä
Prof., MMT Martti Varmola, aluejohtaja Metlan Pohjois-Suomen yksikössä Rovaniemellä

Alkusanat

Metsätalouden ja metsänuudistamisen olosuhteet poikkeavat Lapissa ja muualla Pohjois-Suomessa monella tavalla Etelä-Suomen olosuhteista. Pohjoisessa ilmasto-oloja luonnehtii varsinkin ilmaston muuttuessa äärevyys, kylmyys, valoisuus ja humidisuus sekä kasvupaikkatekijöitä suuri vaihtelu pohjois-eteläsuunnassa, maaston korkeudessa, pintakasvillisuudessa ja maaperässä. Pohjoisessa metsätuhoriskit ovat suuremmat (talvituhosienet, kylmyys, energiapula) kuin etelässä. Eriyisen poikkeavia olosuhteet ovat pohjoisella metsänrajaseudulla, suojametsäalueella sekä sijainniltaan ympäristöään selvästi korkeammilla alueilla, kuten vaarojen lakialueilla.

Olosuhteet poikkeavat paljon myös taloudellisesti, sillä pohjoisessa metsien uudistuminen ja kasvu on hidasta. Sen myötä myös tuotos ja tuotto jäävät pieniksi. Pohjoisessa on myös useampia uudistuvien luonnonvarojen käyttöön perustuvia, osin metsätalouden kanssa kilpailevia elinkeinoja kuin etelässä.

Mainituista tekijöistä johtuu, että samat metsänuudistamisen menetelmät eivät sellaisenaan sovellu pohjoiseen ja etelään. Metsäntutkimuslaitoksella (Metla) vuosina 2007–2011 toteutetussa ”Metsänuudistaminen pohjoisen erityisolosuhteissa” –hankkeen tarkoituksena oli tuottaa tietoa pohjoisen kylmiin ja humidisiin olosuhteisiin sopivasta metsien uudistamisesta. Hanke koostui neljästä osahankkeesta: 1) männyn luontainen uudistaminen Pohjois-Suomessa, 2) kuusivaltaisten metsien luontainen uudistaminen Pohjois-Suomessa, 3) metsien uudistuminen suojametsäalueella ja korkeilla mailla ja 4) vaihtoehtoisten metsänuudistamisketjujen kannattavuus Pohjois-Suomessa.

Tutkimushankkeen yleistavoitteena oli tutkia lähinnä luontaiseen uudistamiseen perustuvia metsänuudistamismenetelmiä, jotka soveltuvat Pohjois-Suomen hidaskasvuisten ja vähätuottoisten metsien uudistamiseen, jotka perustuvat pieniin uudistamiskustannuksiin ja ovat silti kannattavia, ja jotka aiheuttavat mahdollisimman vähän haittaa metsien muille käyttömuodoille ja luonnon monimuotoisuudelle. Hankkeella oli ohjausryhmä, johon kuuluivat Jukka Aula, Leena Finér, Antti Hannukkala, Lauri Karvonen, Taneli Kolström, Tommi Lohi (pj), Kyösti Palojarvi, Martti Rissanen, Pertti Tuomi, Vesa Väisänen, Liisa Saarenmaa ja Lauri Valsta.

Edellä mainitun hankkeen lisäksi Metlalla ja Metsähallituksella oli samaan aikaan yhteinen tutkimushanke ”Pohjois-Suomen metsien uudistaminen”. Hanke käsitti kolme erillistä metsän uudistamiseen liittyvää osahanketta ja yhden poronhoidon ja metsätalouden välisiä laidunkysymyksiä käsittelevän osahankkeen. Osahankkeet olivat: 1) maanmuokkausmenetelmän vaikutus taimikonhoidon tarpeeseen, 2) männyn syyskylvön onnistuminen ja sen käyttömahdollisuudet, 3) metsän luontainen uudistaminen ennen päätehakkuuta ja 4) metsätalouden ja porotalouden erillis- ja yhteisvaikutukset jäkälälaitumiin. Hankkeella oli ohjausryhmä, johon kuuluivat Pertti Tuomi (pj), Lauri Karvonen, Olli Lipponen ja Martti Varmola.

Kummankin hankkeen päätyttyä pidettiin keväällä 2012 loppuseminaari, jossa hankkeiden tutkijat esittelivät tutkimustuloksiaan. Esiteltyjen tutkimusten tuloksia on koottu lyhyehköinä artikkeleina tähän koostejulkaisuun. Osa kirjoituksista perustuu julkaistuihin tietoon, osassa kirjoituksia esitellään alustavia tuloksia.

Mikko Hyppönen

Männyn luontaisen uudistamisen edellytykset Pohjois-Suomessa siemensadon näkökulmasta

Anu Hilli, Tatu Hokkanen, Juha Hyvönen ja Marja-Liisa Sutinen

Johdanto

Luontainen uudistaminen on Pohjois-Suomessa yleisesti käytetty menetelmä, jossa siemenpuita jätetään uudistusalalle yleensä 50–100 kp/ha. Onnistuneen taimettumisen vähimmäisedellytyksenä on, että siemensato on samanaikaisesti paitsi määrältään riittävä myös laadultaan kelvollinen.

Männyn siemensatojen määrän ja laadun on todettu vaihtelevan voimakkaasti eri vuosina (Heikinheimo 1937, Sarvas 1962, Koski ja Tallqvist 1978, Hokkanen 2000, Karlsson ja Örlander 2000). Männyn siementen kehittämisessä on useita vaiheita, jotka vaikuttavat siemensadon laatuun ja määrään. Tärkeimmät vaiheet ovat kukkasilmujen muodostuminen, kukinta, pölytys ja siementen tuleentuminen. Kaikkiin siementen kehitysvaiheisiin vaikuttavat sääolosuhteet. Kasvukauden lämpöolosuhteilla on erityisen tärkeä merkitys kukkasilmujen muodostumiselle ja siementen tuleentumiselle. Myös muut säätekijät vaikuttavat sekä siemensadon määrään että laatuun (Sarvas, 1962, Leikola ym. 1982, Almqvist ym. 1998). Suurin osa siemenistä tulee, jos lämpösumma kohoaa yli 900 d.d. (Sarvas 1970). Sitä vastoin vähintään 845 d.d. tarvitaan, jotta puolet siemenistä saavuttaisi anatomisen kypsyyden (Sarvas 1970, Henttonen ym. 1986).

Pohjois-Suomessakin männiköt tuottavat siementä jonkin verran kaikkina vuosina, mutta laadullisesti hyvät siemensadot ovat harvinaisia. Siemenerien itävyys pohjoisilla alueilla ylittääkin harvoin 70 % (Heikinheimo 1937, Asplund ym. 1973, Ryyänen 1982). Siemensatojen heikohko laatu johtuu usein siementen vajaasta tuleentumisesta, joka johtaa alhaiseen itävyyteen. Männyn siemensatojen laatuun vaikuttaa myös tyhjien siementen osuus. Tyhjien siementen osuus on keskimäärin 20 % siementen määrästä (Sarvas 1962).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää siemensadon määrän ja laadun pitkäaikaista vaihtelua Pohjois-Suomessa ja arvioida sen pohjalta luontaisen uudistamisen onnistumisedellytyksiä.

Aineisto ja menetelmät

Siemensadon määrää tutkittiin neljässä metsikössä, joista kaksi sijaitsi Rovaniemellä ja kaksi Kittilässä. Kolmessa metsikössä siemensatoa on mitattu vuodesta 1960 lähtien ja yhdessä mittaus aloitettiin vuonna 1966. Siemensadon määrää tutkittiin aina vuoteen 2004 saakka. Siemensatoa mitattiin jokaisessa metsikössä 2500 neliömetrin ruudulta ja keräiminä käytettiin karikesuppiloja, jotka sijoitettiin satunnaisesti koeruuduille. Siemensadon keräimet tyhjennettiin säännöllisesti viisi kertaa touko-lokakuussa. Keräyksen jälkeen siemenet kuivattiin, punnittiin ja siementen kokonaisuus laskettiin.

Siemensadon laatua koskeva aineisto on kerätty Metsähallituksen toimesta ja analysoitu sen tytäryhtiössä Siemen Foreliassa. Siemensadon laatua tutkittiin röntgenanalyysillä, johon käpynäytteet oli kerätty vuosina 1986–2004. Metsiköt, joista käpynäytteet kerättiin, vaihtelivat vuosittain. Röntgenanalyysinäytteeseen kerättiin kymmenestä puusta kymmenen käpyä. Suurin osa käpynäytteistä kerättiin syyskuun puolivälin ja joulukuun aikana. Elokuussa ja syyskuun alussa kerättyjen näytteiden tietoja ei käytetty laskennoissa, koska tällä aikavälillä siementen odotettu itävyys muuttuu huomattavasti (Sahlén ja Bergsten 1994). Siemenet karistettiin 40 °C:ssa. Tämän jälkeen

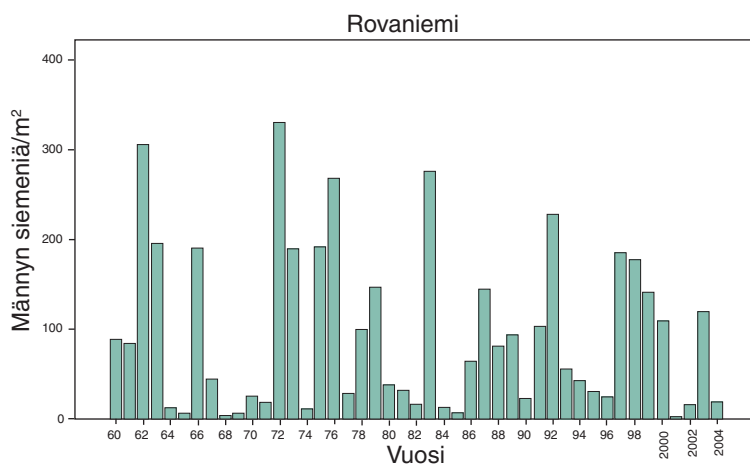
siemensadon odotettu itävyys määritettiin 300 siemenen näytteestä. Siemensadon laatu tutkittiin Kittilän metsiköistä kerätyistä näytteistä. Kaiken kaikkiaan siemensadon odotettu itävyys määritettiin 359 näytteestä.

Tutkimusjaksolla 1960–2004 lämpösusma vaihteli Rovaniemen mittauspisteessä välillä 699–1153 d.d. ja Kittilässä 474–914 d.d. Keskimääräinen vuotuinen lämpösusma oli 907 d.d. Rovaniemellä ja 676 d.d. Kittilässä.

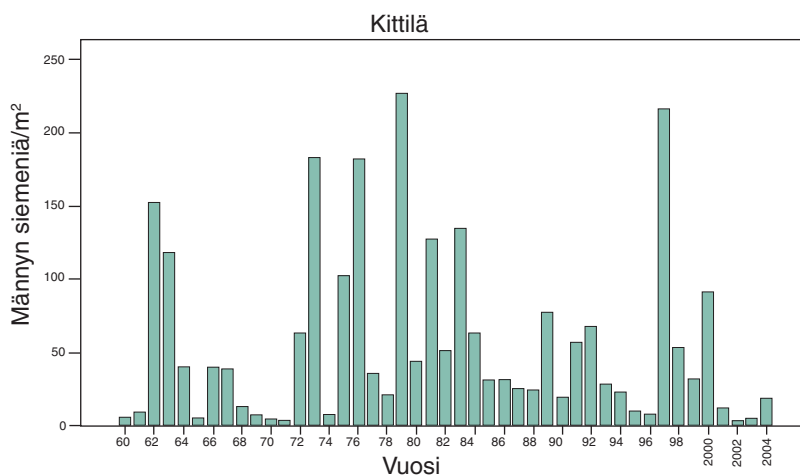
Tulokset

Männyn siemensadon määrä vaihteli suuresti vuosittain. Pitkäaikainen (1960–2004) siemensadon keskiarvo Pohjois-Suomessa oli 77 siementä/m². Parhaimmat siemensadot saatiin vuosina 1962, 1976 ja 1983, jolloin siemensato ylitti 200 kpl/m². Myös vuosina 1972, 1973, 1979 ja 1997 männyn siemensato oli hyvä, 185–200 kpl/m².

Rovaniemen metsiköissä siemensato vaihteli välillä 2–359 siementä/m² (kuva 1). Parhaimmat siemensadot saatiin vuonna 1972, jolloin metsikkökohtaiset siemensadot olivat 359 ja 302 siementä/m². Kaiken kaikkiaan vuosien 1960–2004 aikana männyn siemensato ylitti 200 siementä/m² viisi kertaa ja vaihteli välillä 100–200 kpl/m² kolmenatoista vuotena. Heikoimmat siemensadot saatiin vuosina 1965, 1968, 1969, 1985 ja 2001, jolloin siemeniä oli vain 3–6 kpl/m². Metsikkökohtaiset pitkäaikaiset siemensadon keskiarvot olivat 94 ja 102 siementä/m². Siten keskimääräinen vuotuinen siemensato oli Rovaniemellä 1,9 kg/ha.



Kuva 1. Männyn siemensadon vuosittainen vaihtelu 1960–2004 Rovaniemen metsiköissä.

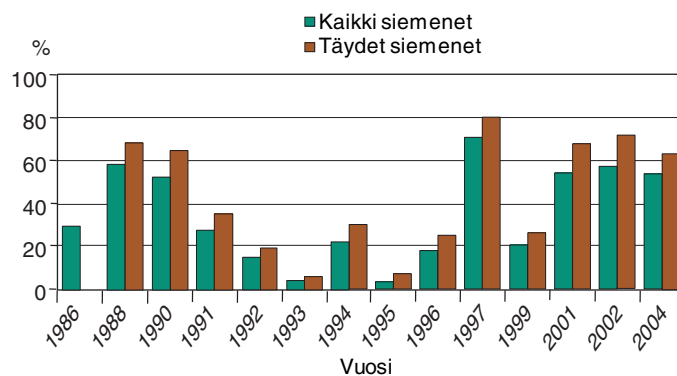


Kuva 2. Männyn siemensadon vuosittaiset keskiarvot 1960–2004 Kittilän metsiköissä.

Kittilän metsiköissä männyn siemensadon määrä vaihteli 1–251 kpl/m² vuosina 1960–2004 (kuva 2). Metsikkökohtaiset pitkäajan keskiarvot olivat 59 ja 58 kpl/m², mikä vastaa noin 0,9 kg/ha.

Parhaimmat männyn siemensadot saatiin vuosina 1979 ja 1997, jolloin siemeniä oli yli 200 kpl/m². Kittilän metsiköissä siemensadon keskiarvo vaihteli välillä 100–200 kpl/m² seitsemänä vuotena. Heikoin siemensato oli vuonna 2002 (kuva 2).

Myös siemensadon laadussa esiintyi suuria vuosivaihteluita (kuva 3). Kittilässä männyn siemenen odotetun itävyyden pitkäaikainen keskiarvo oli 51 % ja täysien siementen osalta 61 %. Vuotuisen lämpösumman tuli olla vähintään 800 d.d., jotta siemensadon odotettu itävyys olisi 50 %. Myös tyhjien siementen osuudessa oli huomattavaa vaihtelua vuosittain ja samanakin vuonna eri metsiköiden välillä. Pitkäaikainen (1986–2004) tyhjien siementen keskiarvo oli Kittilässä 17 %.



Kuva 3. Vuotuiset siemensadon odotetun itävyyden keskiarvot (%) laskettuina kaikista siemenistä ja vain täysistä siemenistä vuosilta 1986–2004 Kittilän metsiköistä.

Tulosten tarkastelu

Parviaisen ja Seppäsen (1994) mukaan riittävään taimettumiseen tarvitaan yleensä vähintään 100 siementä/m². 45-vuotisen tutkimusjakson aikana (1960–2004) keskimääräinen vuotuinen siemensato ylitti sadan siemenen rajan 18 kertaa Rovaniemellä (kuva 1) ja yhdeksän kertaa Kittilässä (kuva 2). Siementen odotettu itävyys oli vähintään 50 % kuutena vuotena neljästätoista (kuva 3).

Tutkimuksemme perusteella määrällisesti runsaat ja laadullisesti hyvät siemensadot ajoittuvat Pohjois-Suomessa harvoin samanaikaisesti. Vuosia, jolloin siemeniä varisi maahan vähintään 100 kpl/m² ja odotettu itävyysprosentti oli samanaikaisesti yli 50 %, esiintyi vain kerran 14-vuotisella seurantajaksoilla. Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon, että siemensadon määrän ja laadun mittaus ei tapahtunut samoissa metsiköissä.

Tulokset tukevat varsin laajalti omaksuttua käsitystä, että useimpina vuosina männyn luontainen uudistaminen on Pohjois-Suomessa vaikeaa, koska hyvälaatuisia, itäviä siemeniä ei varise maahan riittävästi. Määrältään ja laadultaan hyvän siemensadon edellytyksenä on, että kukkimista ja siementen varisemista edeltävät kesät ovat lämpimiä eivätkä kukkimisvuodenkaan sääolot ole epäsuotuisia.

Tulokset korostavat siemensatoennusteiden hyödyntämistä, jotta luontaiseen uudistamiseen tähtäävät hakkuut ja maanmuokkaus kyettäisiin ajoittamaan hyvän siemenvuoden alle. Uusien siemensadon ennustemallien (Pukkala ym. 2010) ja silmuanalyysien ansiosta runsas siemensato on nykyisin ennustettavissa jo hyvissä ajoin, mutta siementen laatua on mahdollista arvioida luotettavasti vasta siementen varisemista edeltävänä syksynä. Tämä vaikeuttaa käpyjen keruun suunnittelua ja saattaa viivästyttää uudistamisratkaisuja, joista tärkein on uudistamistavan valinta. Näiden tulosten perusteella Pohjois-Suomessa voisi harkita kylvön käyttöä useammin uudistamismenetelmänä.

Kirjallisuus

- Almqvist, C., Bergsten, U., Bondesson, L. & Eriksson, U. 1998. Predicting germination capacity of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seeds using temperature data from weather stations. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1530–1535.
- Asplund, K., Lähde, E. & Numminen, E. 1973. Vajaasti kypsyneen männyn siemenen kehitys käpyjen varastoinnin aikana. *Folia Forestalia* 185: 1–12.
- Heikinheimo, O. 1937. Metsäpuiden siementämiskyvystä II. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 24: 1–67.
- Henttonen, H., Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of *Pinus sylvestris* seeds in relation to temperature climate in Northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 243–249.
- Hokkanen, T. 2000. Seed crops and seed crop forecasts for a number of tree species. Finnish Forest Research Institute, Research papers 790: 87–97.
- Karlsson, C. & Örlander, G. 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 256–266.
- Koski, V. & Tallqvist, R. 1978. Tutkimuksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. *Folia Forestalia* 364: 1–60.
- Leikola, M., Raulo, J. & Pukkala, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. *Folia Forestalia* 537: 1–43.
- Parviainen, J. & Seppänen, P. 1994. Metsien ekologinen kestävyys ja metsänkasvatusvaihtoehdot. *Metsän-tutkimuslaitoksen tiedonantoja* 511: 1–110.

- Pukkala, T., Hokkanen, T. & Nikkanen, T. 2010. Prediction models for the annual seed crop of Norway spruce and Scots pine in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 629–642.
- Ryynänen, M. 1982. Individual variation in seed maturation in marginal populations of Scots pine. *Silva Fennica* 16: 185–187.
- Sarvas, R. 1962. Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 53: 1–198.
- 1970. Establishment and registration of seed orchards. *Folia Forestalia* 89: 1–24.
- Sahlén, K. & Bergsten, U. 1994. Predicting anatomical maturity of *Pinus sylvestris* L. seeds in northern Fennoscandia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 154–157.

Pintakasvillisuuden vaikutus männyn luontaiseen uudistamiseen Koillis-Lapissa

Pasi Rautio, Mikko Hyppönen, Ville Hallikainen ja Juhani Niemelä

1 Johdanto

Luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä on kustannuksiltaan suhteellisen alhainen ja siksi houkutteleva vaihtoehto etenkin Pohjois-Suomessa, jossa uudistettavaa alaa on suhteellisen paljon. Huolimatta lyhyestä kasvukaudesta ja viileästä ilmastosta, männyn (*Pinus sylvestris*) luontainen uudistaminen onnistuu Pohjois-Suomessa yleensä hyvin. Pohjoisen haastavat olosuhteet vaativat kuitenkin oikeita menetelmiä ja oikeaa ajoitusta, jotta luontainen uudistaminen onnistuisi. Metsät uudistuvat luonnossa usein metsäpalojen kautta. Talousmetsien uudistaminen luontaisesti vaatii yleensä jonkinasteisen maankäsittelyn siementen itävyyden ja taimettumisen parantamiseksi ja pituuskasvun nopeuttamiseksi (Yli-Vakkuri 1961, Hagner 1962, Bergan 1981, Ackzell 1993, Karlsson ja Örländer 2000, Oleskog ym. 2000, Hyppönen ym. 2001).

Toisinaan männyn luontainen uudistaminen epäonnistuu jopa kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, jollaisilla ei yleensä ole uudistamisvaikeuksia (Niemelä 2002). Hallikainen ym. (2007) havaitsivat vastikään, että uudistumistulos oli heikko maankäsittelystä huolimatta. Tulokset viittasivat siihen, että maaperän ominaisuudet, kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuus, sienitaudit ja poron laidunnus voivat olla yhteydessä hitaaseen ja huonoon uudistumiseen, mutta lähempi tarkastelu on tarpeen perimmäisten syiden selvittämiseksi. Tässä kuvatussa tutkimuksessa keskityttiin kenttä- ja pohjakerroksen kasvivilajiston roolin selvittämiseen. Alla esitellään tutkimuksessa saatuja alustavia tuloksia.

2 Materiaali ja menetelmät

Tutkimuksessa mitattiin muuttujia kolmella eri tasolla: metsikkö-, koeala- ja taimitasolla. Kullakin tasolla mitattiin tai määritettiin muuttujia (taulukko 1), jotka luetellaan alla.

Metsikkötaso. Viisitoista koemetsikköä (kuva 1) valittiin satunnaisesti niiden metsiköiden joukosta, jotka oli luontaisesti uudistettu Itä-Lapissa 1986–1987 välisenä aikana käyttäen siemenpuumenetelmää (katso tarkemmin Hallikainen ym. 2007). Metsikkötasolla mitattuja muuttujia olivat: keskimääräinen lämpösumma käyttäen Ojansuun ja Henttosen (1983) mallia, metsikön korkeus-asema, siemenpuuhakuusta kulunut aika ja siemenpuiden lukumäärä hehtaarilla.

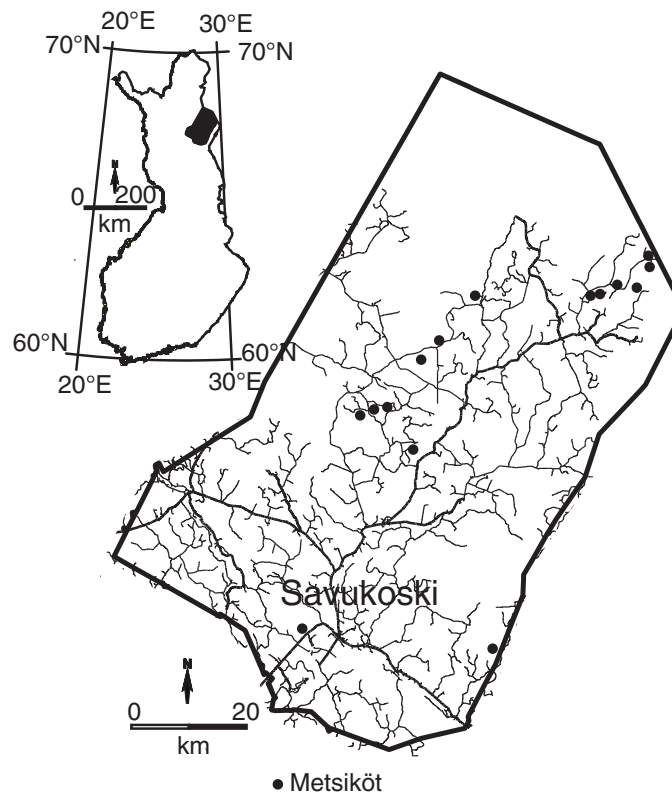
Koelataso. Jokaisella 15 metsiköllä valittiin 25 satunnaisesti sijoitettua 10 m² ympyräkoelaa. Koaloilla mitattiin kasvilajien peittävyys, taimien lukumäärä puulajeittain, siemenpuuhakuun jälkeen syntyneiden männyn taimien lukumäärä, maaperän kivisyys, humuksen paksuus, hakkuutahteen määrä ja paljastuneen kivennäismaan osuus.

Taimitaso. Jokaisella metsikön 25 koelalla kaikkien löydettyjen taimien ikä, pituus ja kunto arvioitiin. Lisäksi arvioitiin kasvilajien runsaussuhteet taimen välittömässä ympäristössä (5 cm etäisyydellä taimen tyvestä).

Edellä lueteltuja muuttujia käytettiin tilastollisessa mallinnuksessa, kun etsittiin taimettumista ja taimien kasvua mahdollisesti selittäviä tekijöitä.

Taulukko 1. Tutkimusmetsiköiden tunnuslukuja (metsiköiden keskilukuja ja hajontoja). Lyhenne "hakk. jälk. synt." viittaa taimiin, jotka syntyneet siemenpuuhakkuun jälkeen. K.a. = keskiarvo, lv. = luottamusväli, Sd = keskiarvon keskihajonta, Md = mediaani.

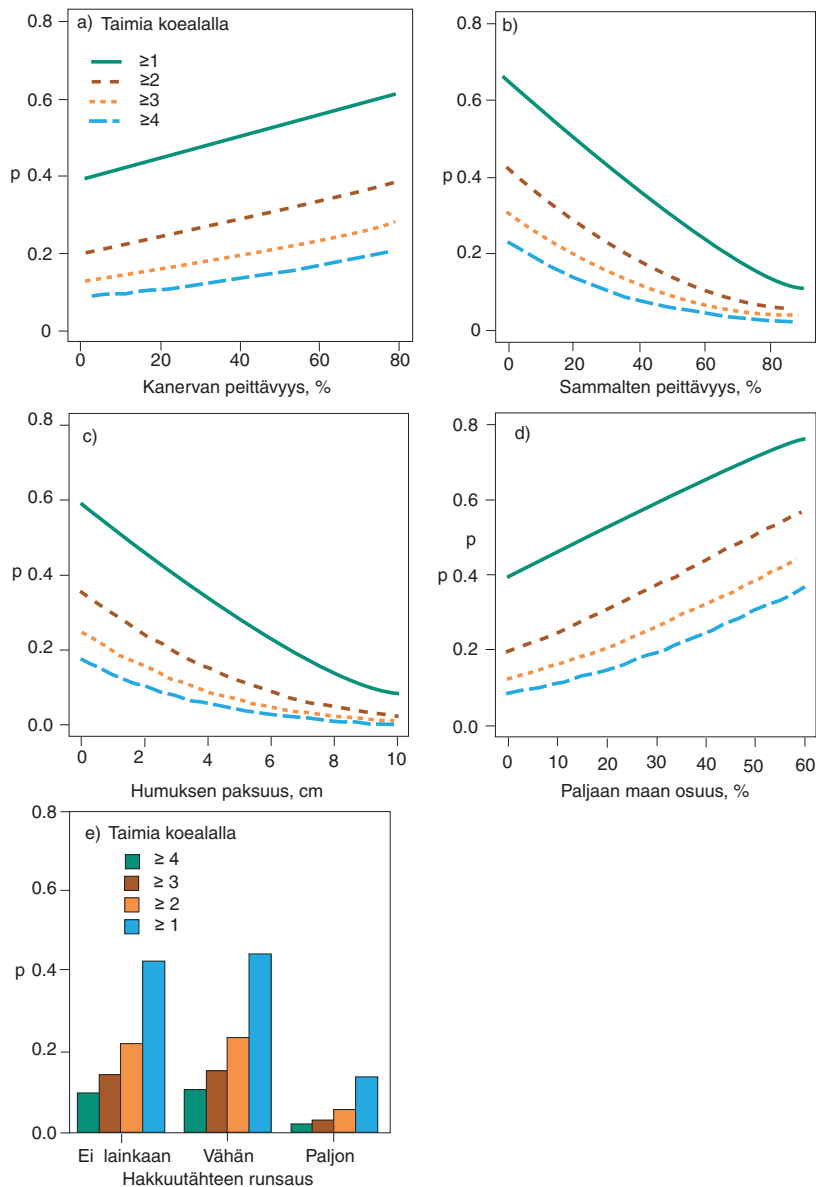
	95% lv.		Sd	Min	Max	Md
	K.a.	ala ylä				
Lämposumma, d.d.	690	678 701	23	659	757	694
Korkeus, mpy	257	242 272	30	207	310	260
Aika siemenpuuhakkuusta, vuosia	12	10 13	4	6	17	11
Humuskerroksen paksuus, cm	2,0	1,4 2,6	1,2	0,5	5,8	1,7
Siemenpuiden lkm ha ⁻¹	33	19 48	28	13	120	24
Variksenmarjan peittävyys, %	15,4	11,3 19,6	8,2	0,7	33	13,5
Kanervan peittävyys, %	11,1	5,9 16,2	10,2	0,0	34,2	11,8
Puolukan peittävyys, %	2,0	1,1 2,8	1,7	0,4	6,5	1,7
Mustikan peittävyys, %	6,3	3,9 8,8	4,8	0,4	16,2	5,9
Karhunsammalen peittävyys, %	8,8	5,1 12,5	7,3	1,1	23,3	7,9
Muiden sammalten peittävyys, %	21,6	15,5 27,7	12,1	2,7	44,7	24,0
Poronjäkälien peittävyys, %	16,1	9,8 22,4	12,4	0,4	44,8	15,0
Muiden jäkälien peittävyys, %	3,2	1,5 4,8	3,2	0,0	10,5	1,6
Paljastetun mineraalimaan peittävyys, %	5,2	2,0 8,5	6,1	0,0	16,36	1,5
Männyn taimien lkm, (hakk. jälk. synt.), ha ⁻¹	1387	658 2116	1441	160	5200	1120
Männyn taimien lkm ha ⁻¹	1874	943 2806	1840	240	7033	1280
Kuusen taimien lkm ha ⁻¹	273	92 455	359	0	1120	120
Koivun taimien lkm ha ⁻¹	1167	662 1672	998	40	3680	920
Männyn taimien ikä (hakk. jälk. synt.), vuosia	6	5 7	2	3	10	6
Taimien pituus (hakk. jälk. synt.), cm	17,8	12,5 23,1	10,5	5,0	43,2	16,3



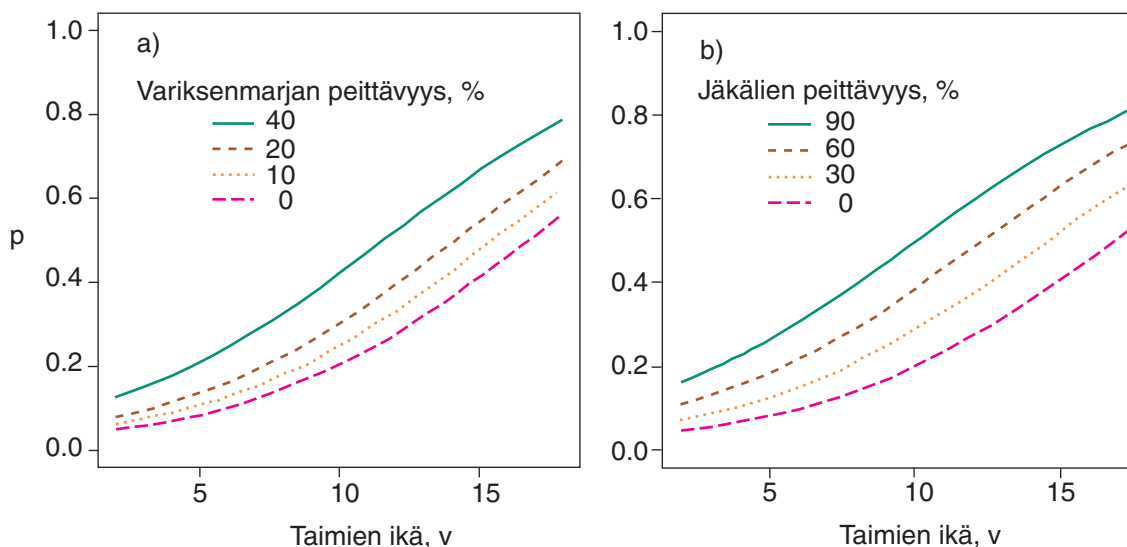
Kuva 1. Tutkimusalueiden sijainti.

3 Tulokset

Kanervan peittävydellä oli tilastollisesti merkitsevä, joskaan ei kovin vahva, positiivinen vaikutus taimettumiseen (kuva 2a). Tilastollisen mallin mukaan kanervan peittävyden lisääntyminen 0 prosentista 80 prosenttiin lisää taimettumistodennäköisyyttä 5–20 % riippuen siitä, onko tavoitteena ≥ 1000 , ≥ 2000 , ≥ 3000 tai ≥ 4000 tainta hehtaarilla (eli ≥ 1 , ≥ 2 , ≥ 3 tai ≥ 4 tainta 10 m^2 koealalla, kuva 2a). Sammalten (muut kuin karhunsammalet) peittävyys ja paksu humuskerros vaikuttavat taimettumiseen negatiivisesti, kun taas paljastuneen mineraalimaan osuus positiivisesti (kuva 2b, c ja d). Hakkuualoille jääneen hakkuutähteen vaikutus riippuu tähteen määrästä. Mikäli hakkuutähdettä on vain vähän, ei sillä ole vaikutusta alan taimettumiseen (ei eroa aloihin, joilla ei lainkaan hakkuutähdettä), mutta jos hakkuutähdettä jää paljon, se vähentää selvästi taimettumista (kuva 2e).



Kuva 2. Tutkittujen muuttujien vaikutus tilastollisen mallin ennustamiin taimettumistodennäköisyyksiin (p).



Kuva 3. Variksenmarjan ja jäkälalien (muut kuin poronjäkälät) peittävyys, % vaikutus tilastollisen mallin ennustamaan todennäköisyyteen (p), että männyn taimi on kuollut tai kuolemaisillaan.

Tutkituista muuttujista puolukan peittävyydellä oli positiivinen vaikutus taimien kasvuun, kun taas kanerva hidasti kasvua. Tilastollisen mallin mukaan 15-vuotias taimi on noin 10 cm lyhempi paikoilla, joissa kanervan peittävyys on 50 % verrattuna paikkoihin joissa kanervaa ei ole. Toisaalta esimerkiksi poronjäkälillä tai karhunsammalilla ei todettu olevan yhteyttä männyn taimien pituuskasvuun.

Tarkasteltaessa taimien kuntoa havaittiin, että noin puolet taimista oli 15 vuoden iässä joko kuolleita tai lähes kuolleita. Mitatuista muuttujista variksenmarjalla (kuva 3a) ja jäkälillä (muut kuin poronjäkälät, kuva 3b) oli selvästi taimien kuolleisuutta lisäävä vaikutus. Esimerkiksi 60 prosentin lisäys jäkälän peittävydessä lisää taimien kuolleisuutta noin 20 % tarkasteltaessa 15-vuotiaita taimia.

4 Tulosten tarkastelu

Taimettuminen oli tutkimusaloilla keskimäärin heikkoa, ja alojen uudistuminen näin ollen hidasta. Männyn luontaisen uudistamisen vaikeuksien on raportoitu liittyvän mm. pohjoiseen sijaintiin, korkeisiin kasvupaikkoihin ja alhaiseen lämpösummaan, jotka laskevat siementuottoa ja taimettumista, hidastavat kasvua ja lisäävät taimikuolleisuutta (Varmola ym. 2004, Hyppönen ym. 2005, Juntunen ja Neuvonen 2006). Koillis-Lapissa ylläkuvatut männyn luontaisen uudistamisen ongelmat ovat olleet vielä vaikeampia kuin muualla metsänrajaseuduilla (Niemelä 2002, Hallikainen ym. 2007).

Muuttujista, joiden vaikutuksia tässä tutkimuksessa tarkasteltiin, osalla oli positiivisia ja osalla negatiivisia vaikutuksia taimettumiseen sekä taimien kasvuun ja kuolevuuteen. Kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuuden vaikutus vaihteli riippuen kasvilajista ja siitä mitä vaihetta männyn taimien elinkaareissa tarkasteltiin. Mielenkiintoinen havainto oli, että kanervalla oli positiivinen vaikutus taimettumiseen mutta negatiivinen vaikutus taimien kasvuun. Vaikka tämä havainto näyttää ristiriitaiselta, vastaavia havaintoja löytyy vanhoista tutkimuksista (Kangas 1931, Sarvas 1949). Näiden tutkimusten mukaan kanerva auttaa mäntyjen taimettumista suojelemalla taimia kuivu-

miselta. Tällainen ”hoitajakasvivaikutus” (engl. nurse-plant effect) on itse asiassa klassinen esimerkki kasvilajien välisistä positiivisista vuorovaikutuksista (Bruno ym. 2003). Kanerva saattaa myös suojella männyn taimia poronlaidunnuksen aiheuttamilta mekaanisilta vaurioilta. Kanervan kaksoisrooli saattaa selittyä myös sillä, että välittömästi hakkuun jälkeen männyn taimet ehtivät itää ja kasvaa, ennen kuin kanerva ehtii vallata alueen ja sitten ehkäistä voimakkaana kilpailijana taimettumista. Kun kanerva lopulta kuitenkin valtaa alaa, kilpailu männyn kanssa kovenee ja taimien kuolevuus lisääntyy (Aaltonen 1919, Hertz 1934). Kanervan tehokkuus kilpailijana perustuu mm. sen kykyyn tuottaa allelopaattisia yhdisteitä (Miles 1981, Mallik 1995). Päätehakkuu ja maankäsittely tai kulotus eivät aina riitä kanervan taltuttamiseen (Norberg ym. 2001), koska se valtaa nopeasti häiriityt alueet (Skre ym. 1998).

Päinvastoin kuin kanerva, puolukka edisti taimien kasvua. Tämä saattaa johtua puolukan positiivisesta vaikutuksesta karikkeen laatuun ja maaperän mikrobiaktiivisuuteen sekä maaperän mineraalitehtävien kulutuksesta (Wardle ja Zackrisson 2005).

Sammalten (muut kuin karhunsammalet) peittävyys ehkäisi taimettumista. Esimerkiksi Zackrisson ym. (1997) on selittänyt seinäsammalten negatiivista vaikutusta männyn siementen itävyyteen ja taimien selviämiseen sammaleen vaikutuksella kosteuteen, kemialliseen häirintään ja ravinteiden saatavuuteen. Zackrissonin ym. (1997) kokeessa männyn siementen itävyys, taimettuminen ja kasvu paranivat, kun sammalet ja variksenmarja poistettiin. Variksenmarjan negatiivinen vaikutus männyn taimien elossa säilymiseen havaittiin myös tässä kuvatussa tutkimuksessa. Samansuuntainen vaikutus havaittiin myös jäkälillä, mikä on havaittu myös joissakin aikaisemmissä tutkimuksissa (Lakari 1915, Brown ja Mikola 1974). Toisaalla on havaittu jäkäliden olevan parempi kasvualusta kuin esimerkiksi ympäristö, jossa on paljon sammalta tai variksenmarjaa (Steijlen ym. 1995, Zackrisson ym. 1995, den Herder ym. 2003).

Tuloksia tulkitessa täytyy ottaa huomioon se, että poronlaidunnus ja tallaus monimutkaistavat jäkäläpeitteen roolin tulkintaa. Paikoilla joissa on paljon jäkälää, on yleensä myös kova laidunnuspaine. Laidunnus vähentää jäkäläpeitettä, mikä puolestaan muuttaa kasvillisuutta kohti sammaleen, varpujen, paljaan maan ja muiden kuin porojäkäliden dominoivaa tyyppiä (Suominen ja Olofsson 2000, den Herder ym. 2003). Laidunnuksen vaikutus osoitettiin mm. äskettäisessä tutkimuksessa (Lappalainen 2010), jossa männyn taimien lukumäärä aidatulla alueella oli lähes kaksinkertainen verrattuna laidunnettuihin alueisiin.

Kanervan ja sammaleen lisäksi taimettumiseen vaikuttivat (i) siemenpuuhakkuusta kulunut aika, (ii) paljastetun mineraalimaan osuus, (iii) humuksen paksuus ja (iv) hakkuutähteen määrä. Näistä kaksi ensimmäistä vaikuttivat positiivisesti syntyneiden taimien lukumäärään, kuten voitiin odottaa aikaisempien tutkimusten perusteella (Varmola ym. 2004, Hyppönen ym. 2005), kun taas kaksi viimeistä vaikuttivat negatiivisesti. Humuskerroksen negatiivinen vaikutus on havaittu useissa tutkimuksissa (Niemistö ym. 1993, Hyppönen 2002). Tiedetään myös, että kohtuullinen hakkuutähteen määrä lisää taimettumista (Lehto 1956, 1969), kun taas runsas hakkuutähteen määrä vaikeuttaa taimettumista (Jonsson 1999).

5 Johtopäätökset

Saadut tulokset eri tekijöiden vaikutuksista taimettumiseen, taimien kasvuun ja kuolevuuteen osoittavat, että perinteiset menetelmät kuten raivaus ja maanmuokkaus metsän luontaisessa uudistamisessa eivät tutkimusalueen kaltaisilla alueilla ole aina riittäviä. Lisätoimenpiteitä siis tarvitaan uudistumisen varmistamiseksi. Nämä toimenpiteet voivat olla esimerkiksi kulutus yhdistettynä jonkinasteiseen maan käsittelyyn, joilla radikaalisti vähennetään kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuuden aiheuttamaa kilpailua. Metla onkin aloittanut yhteistyössä Metsähallituksen, SLUn ja Sveaskogin kanssa tutkimuksen, jossa näiden toimenpiteiden vaikutusta selvitetään.

Kiitokset

Tämä tutkimus toteutettiin Metsähallituksen ja Metlan yhteistyönä. Kirjoittajat kiittävät ko. organisaatioita ja niiden henkilöstä teknisestä tuesta ja rahoituksesta. Pia Kangas auttoi aineiston keräämisessä ja Raimo Pikkupera käsikirjoituksen teknisessä viimeistelyssä.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 1. 375 s.
- Ackzell, L. 1993. A comparison of planting, sowing and natural regeneration for *Pinus sylvestris* (L.) in boreal Sweden. Forest Ecology and Management 61: 229–245.
- Bergan, J. 1981. Regeneration of Scots pine forests in Troms and Finnmark. Norsk Institutt for Skogforskning, Rapport 10, 69 s.
- Brown, R.T. & Mikola, P. 1974. The influence of fruticose soil lichens upon the mycorrhizae and seedling growth of forest trees. Acta Forestalia Fennica 141: 1–23.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J. & Bertness, M.D. 2003. Inclusion of facilitation into ecological theory. Trends in Ecology and Evolution 18(3): 119–125.
- Hagner, S. 1962. Naturlig föryngring under skärm. En analys av föryngringsmetoden, dess möjligheter och begränsningar i mellannorrländskt skogsbruk. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 52(4). 263 s.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Hyvönen, J. & Niemelä, J. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland. Silva Fennica 41(1): 71–88.
- den Herder, M., Kytöviita, M.-M. & Niemelä, P. 2003. Growth of reindeer lichens and effects of reindeer grazing on ground cover vegetation in a Scots pine forest and a subarctic heathland in Finnish Lapland. Ecography 26: 3–12.
- Hertz, M. 1934. Kasvualustan merkityksestä männyn uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 20(2). 98 s.
- Hyppönen, M. 2002. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 844. 69 s.
- , Alenius, V. & Valkonen, S. 2005. Models for the establishment and height development of naturally regenerated *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. Scandinavian Journal of Forest Research 20: 374–357.
- , Hyvönen, J., Mäkitalo, K., Riissanen, N. & Sepponen, P. 2001. Maanmuokkauksen vaikutus luontaisesti uudistetun männyntaimikon kehitykseen Lapissa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2001: 5–18.
- Jonsson, B. 1999. Stand establishment and early growth of planted *Pinus sylvestris* and *Picea abies* related to microsite conditions. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 425–440.
- Juntunen, V. & Neuvonen, S. 2006. Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce close to the

- timberline in Northern Finland. *Silva Fennica* 40(3): 443–458.
- Kangas, E. 1931. Siikakankaan mäntytaimistojen tuhoista. *Silva Fennica* 17: 1–107.
- Karlsson, C. & Örlander, G. 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed-tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 256–266.
- Lakari, O. 1915. Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideböden. *Acta Forestalia Fennica* 5(1). 211 s.
- Lappalainen, M. 2010. Poron laidunnuksen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusohjelma. 29 s.
- Lehto, J. 1969. Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(4): 1–140.
- , 1956. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuuspuumenetelmällä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(4). 140 s.
- Mallik, A.U. 1995. Conversion of temperate forests into heaths: Role of ecosystem disturbance and ericaceous plants. *Environmental Management* 19:19(5): 675–684.
- Miles, J. 1981. Problems in heathland and grassland dynamics. *Vegetatio* 46: 61–74.
- Niemelä, J. 2002. Männyn luontainen uudistaminen Savukoskella. *Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja* 42. 41 s.
- Niemistö, P., Lappalainen, E. & Isomäki, A. 1993. Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys luontaisen uudistamisvaiheen aikana. *Folia Forestalia* 826. 26 s.
- Norberg, G., Dolling, A., Jäderlund, A., Nilsson, M.-C. & Zackrisson, O. 2001. Control of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) by steam treatment: Effects on establishment and early growth of Scots pine. *New Forests* 21: 187–198.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. *Silva Fennica* 17(2): 143–160.
- Oleskog, G., Grip, H., Bergsten, U. & Sahlén, K. 2000. Seedling emergence of *Pinus sylvestris* in characterized seedbed substrates under different moisture conditions. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1766–1777.
- Sarvas, R. 1949. Siemenpuuhakkuu männikön uudistushakkuuna Etelä-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 37(6). 43 s.
- Skre, O., Wielgolaski, F.E. & Moe, B. 1998. Biomass and chemical composition of common forest plants in response to fire in western Norway. *Journal of Vegetation Science* 9: 501–510.
- Steijlen, I., Nilsson, M.-C. & Zackrisson, O. 1995. Seed regeneration of Scots pine in boreal forest stands dominated by lichen and feather moss. *Canadian Journal of Forest Research* 25(5): 713–723.
- Suominen, O. & Olofsson, J. 2000. Impacts of semi-domesticated reindeer on structure of tundra and forest communities in Fennoscandia: a review. *Annales Zoologici Fennici* 37: 233–249.
- Varmola, M., Hyppönen, M., Mäkitalo, K., Mikkola, K. & Timonen, M. 2004. Forest management and regeneration success in protection forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 424–441.
- Wardle, D.A. & Zackrisson, O. 2005. Effects of species and functional group loss on island ecosystem properties. *Nature* 435: 806–810.
- Yli-Vakkuri, P. 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. *Acta Forestalia Fennica* 75(1). 122 s.
- Zackrisson, O., Nilsson, M.-C., Steijlen, I. & Hörnberg, G. 1995. Regeneration pulses and climate-vegetation interactions in nonpyrogenic boreal Scots pine stands. *Journal of Ecology* 83: 469–483.
- , Nilsson, M.-C., Dahlberg, A. & Jäderlund, A. 1997. Interference mechanisms in conifer-Ericaceae-feather moss communities. *Oikos* 78: 209–220.

Puuston tiheyden vaikutus männikön taimettumiseen Lapissa – alustavia tuloksia väljennyshakkuusta

Sameli Salokannel, Mikko Hyppönen ja Ville Hallikainen

1 Johdanto

Noin 10 vuotta ennen varsinaista uudistamishakkuuta tehtävän väljennyshakkuun tarkoituksena on sekä jäävän puuston kasvattaminen että metsikön valmistaminen uudistamista varten (Kalela 1961, Nyyssönen 1995, Hyppönen 2002). Suositusten mukaan väljennyshakkuulla käsitellään uudistuskypsyyttä lähestyvä tai uudistuskypsä metsikkö, joka on tarkoitus uudistaa luontaisesti (Hyvän... 2001, Keskimölo ym. 2007). Hakkuussa annetaan kasvutilaa jäävälle puustolle, jolloin puusto ja sen juuristo vahvistuvat kestämaan tuulia. Hakkuun avulla voidaan tuuhettaa puuston latvuksia ja parantaa siementuotantoa jo ennen uudistushakkuuta (Hagner 1965). Väljennyshakkuu on tarpeen erityisesti tiheänä kasvaneissa, hoitamattomissa metsiköissä (Fries 1979).

Lehdon (1969) mukaan väljennyshakkuulla voidaan nopeuttaa taimettumista ja lyhentää uudistumisaikaa Lapissa jopa 30 vuotta. Hakkuun yhteydessä metsiköstä voidaan myös raivata taimettumista haittaava alikasvos ja puusto (Hyppönen ym. 2001). Väljennyshakkuu paljastaa myös maanmuokkaustarpeen (Salokannel 2011). Hakkuun tarkoituksena voi lisäksi olla metsätalouden järjestelyyn tai ympäristön hoitoon liittyviä syitä (Hokajärvi 1997). Väljennyshakkuun käyttöä taimettumisen edistämiseen eli alikasvoksen hankintaa ennen varsinaista uudistamisvaihetta ei ole kovinkaan paljon tutkittu, vaikka menetelmää suositellaankin käytännön ohjeissa (ks. kuitenkin Hyppönen ja Hyvönen 2000).

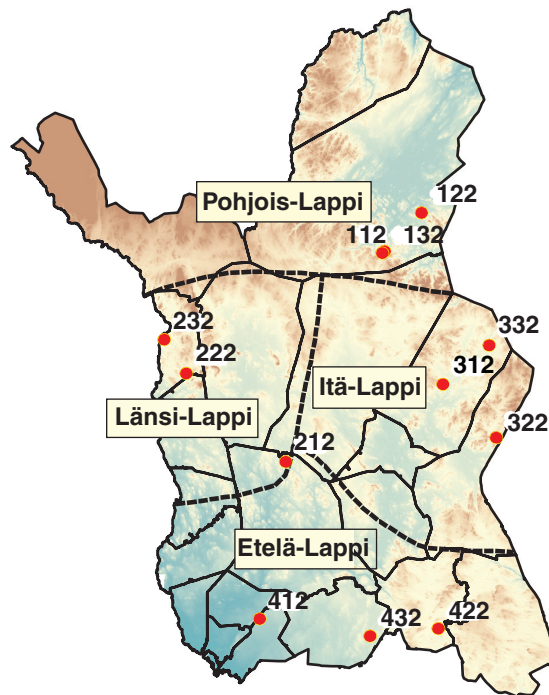
Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, edistääkö väljennyshakkuu taimettumista Lapin uudistuskypsissä tai uudistuskypsyyttä lähestyvissä kuivahkon kankaan männiköissä. Tutkimuksessa tarkasteltiin harvennusvoimakkuuden vaikutusta männikön taimettumiseen ja taimien alkukehitykseen, kun väljennyshakkuusta oli kulunut 2–3 vuotta. Tässä selvitetään erityisesti taimimäärien muutoksia seurantajaksoilla eli viimeisenä ja ensimmäisenä mittausvuonna luettujen taimimäärien erotus keskimääriin.

2 Aineisto ja menetelmä

Väljennyshakkuun vaikutusta taimettumiseen selvitetään laajan, eri puolille Lappia perustetun kokeen avulla. Lappi jaettiin tutkimuksessa neljään alueeseen: Pohjois-, Itä-, Etelä- ja Länsi-Lappi, joihin kuhunkin perustettiin kolmena eri vuonna 2004, 2005 ja 2006 koekenttä (kuva 1).

Kuhunkin toistoon perustettiin neljä koeruutua, joissa siemenpuiden tiheydet ovat 50, 150 ja 250 kpl/ha ja kontrolli (kuva 2). Koeruudun koko on 30 x 30 m, ja koealaa ympäröivän vaipan leveys 15–20 m. Jokaisella koeruudulla sijaitsee viisi (5) taimikoealaa ($r = 2,52$ m), viisi (5) taimiainekoealaa ($r = 0,56$ m), viisi (5) kasvipeitekoealaa (0,71 x 0,71 m) ja neljä (4) siemenkeruusuppilaa (kuva 2).

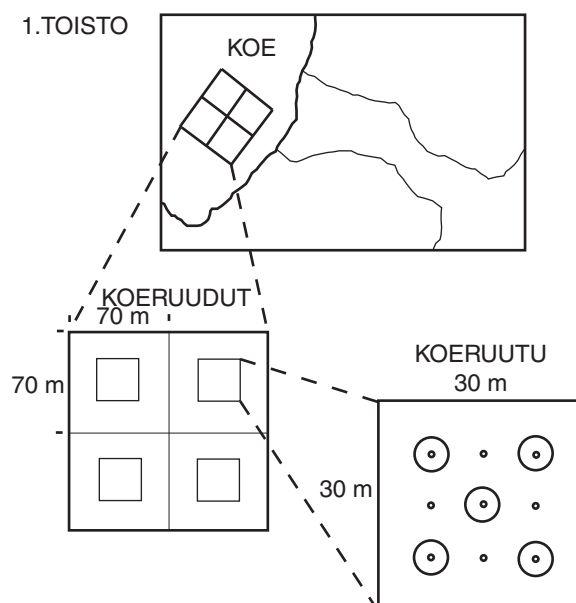
Tutkimusaineisto sisälsi sekä koetason että koeruututason muuttujia, aineisto oli siten hierarkkinen.



Kuva 1. Koealueet ja perustettujen koekenttien sijainti.

Koetason muuttujia olivat lämpösomma, korkeus merenpinnasta ja seurantajakson pituus. Muut mitatut muuttujat olivat koeruututasolta (esim. humuksen paksuus, kivisyys). Kaikki aineiston muuttujat olivat kiinteitä.

Koska mallinnettava taimiaineisto koostui lukumäärästä, kappalemäärämalli sopi parhaiten sen kuvaamiseen. Yleistettyihin lineaarisiin malleihin kuuluvan GEE (Generalized Estimation Equations) -estimointimenetelmän avulla pystyttiin huomioimaan aineiston hierarkkisesta rakenteesta



Kuva 2. Koejärjestely.

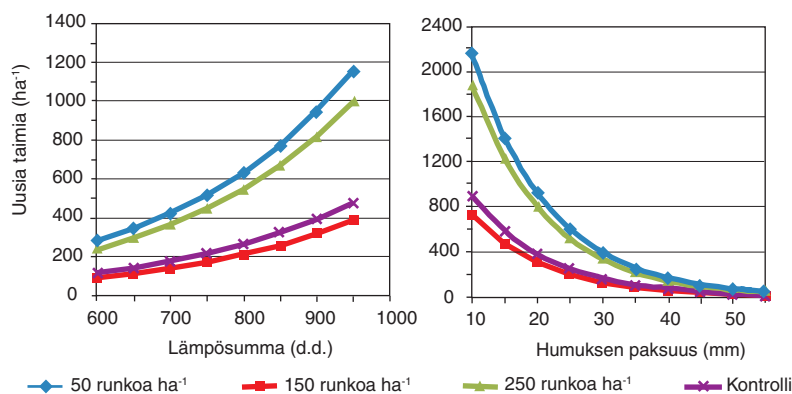


Kuva 3. Väljennyshakkuukokeen 322 koeruudut. Ylhäältä vasemmalta alkaen kasvatustiheys 50, 150, 250 runkoa ha⁻¹ ja kontrolliruuutu 600 runkoa ha⁻¹.

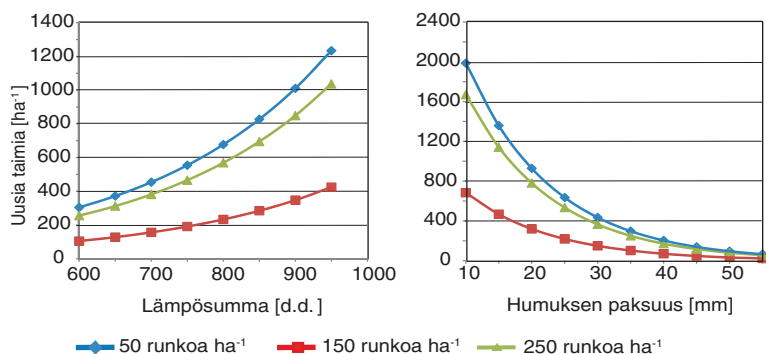
johtuva kokeen ja kokeelle perustettujen koeruutujen välinen riippuvuus. Taimimäärien muutosta ennustettiin kahden eri mallin avulla: 1) malli, joka piti sisällään myös kontrolliruuuduilla tapahtuneet taimimäärämuutokset ja 2) malli, joka otti huomioon ainoastaan harvennetuilla koeruuduilla tapahtuneet muutokset.

3 Tulokset

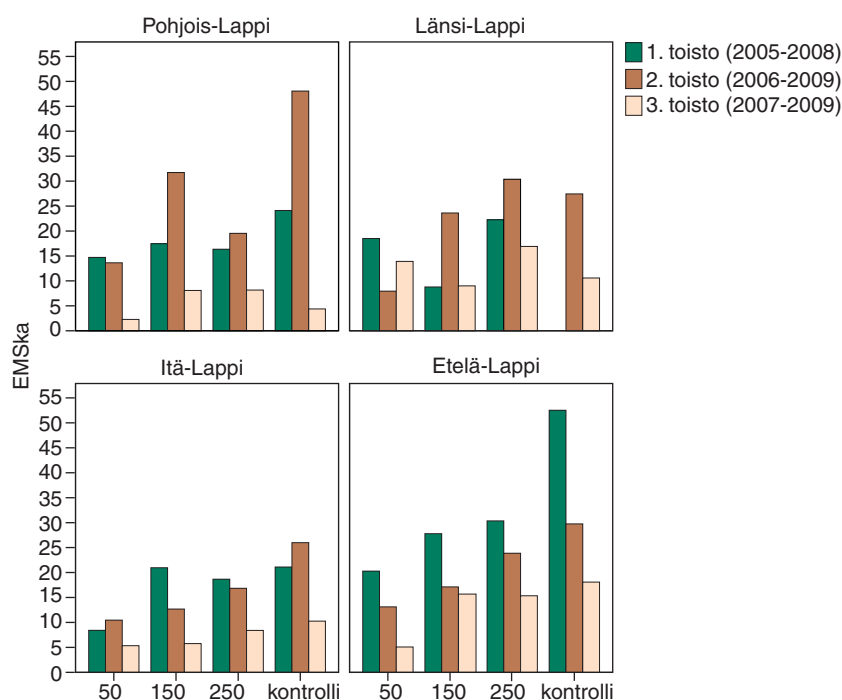
Taimettumista kuvaavassa mallissa, jossa myös kontrolliruuudut olivat mukana, taimimäärien muutokset poikkesivat toisistaan kasvatustiheyden 50 runkoa ha⁻¹ ja kontrolliruuudun välillä (p -arvo = 0,033) sekä tiheyksien 50 ja 150 kpl ha⁻¹ välillä (p = 0,022) (kuva 4). Jos pareittaisessa vertailussa tehtiin Bonferroni-korjaus, tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu tiheyksien välillä. Humuksen paksuudella oli merkitsevä negatiivinen (p = 0,000) ja lämpösummalla positiivinen (p = 0,004) vaikutus taimimäärän muutokseen.



Kuva 4. Lämpösunnan (d.d.) ja humuksen paksuuden (mm) vaikutus taimien määrän muutokseen eri puustiheyksillä. Kontrolliruuutu on analyysissä mukana.



Kuva 5. Lämpösumman (d.d.) ja humuksen paksuuden (mm) vaikutus uusien taimien määrän muutokseen eri kasvatustiheyksillä. Kontrolliruutu ei ole analysissä mukana.



Kuva 6. Ehjien männyn siementen lukumäärä keskimäärin neliometriä kohden vuodessa (EMSka) eri puuston tiheyksillä Lapin eri osissa. Pylväät koostuvat eri vuosina perustetuista toistoista (kokeista).

Toisessa taimettumista kuvaavassa mallissa kontrolliruutuja ei otettu lainkaan huomioon. Mallin mukaan taimimäärämuutos oli lähes merkitsevä kasvatustiheyksien 150 ja 250 runkoa ha⁻¹ välillä ($p = 0,052$) (kuva 5). Pareittaisessa vertailussa (LSD) tilastollisesti merkitsevä ero oli havaittavissa kasvatustiheyksien 50 ja 150 runkoa ha⁻¹ välillä ($p = 0,025$). Mikäli huomioitiin pareittaisten vertailujen lukumäärä (Bonferroni-korjaus), ero oli lähes merkitsevä ($p = 0,074$). Myös tässä mallissa lämpösumma ja humuskerroksen paksuus olivat merkitseviä.

4 Tarkastelu

Molempien mallien perusteella kasvatustiheydet 50 ja 250 runkoa ha⁻¹ olivat otollisimmat taimettumaan. Taimia syntyi selvästi vähiten kasvatustiheyteen 150 ha⁻¹, vaikka kyseinen kasvatustiheys on useiden tutkimustulosten mukaan taimettumisen kannalta hyvä (Lehto 1956, Beland ym. 2000, ks. kuitenkin Norokorpi 1983). Huonoin taimettuminen kyseisellä kasvatustiheydellä voi

olla sattumaa, mikä saattaa liittyä lyhyeen seurantajakson pituuteen. Toisaalta taimettuminen oli aineiston perusteella systemaattisesti heikkoa kyseisellä kasvatustiheydellä. Herää kysymys, onko kyseinen kasvatustiheys jonkinlainen kasvuolosuhteista johtuva taimettumisen minimikohta, jossa olosuhteet olisivat taimettumiselle epäsuotuisimmat sekä alempiin että korkeampiin tiheyksiin verrattuna? Alemmilla tiheyksillä harvennusten taimettumista edistävä vaikutus korostuu etenkin parantuneiden valo- ja lämpöolosuhteiden sekä vähentyneen kilpailun myötä. Vastaavasti korkeammilla tiheyksillä runsaammat siemenmäärät sekä kosteampi ja suojaisampi pienilmasto edistävät taimettumista.

Tutkimusten mukaan tiheä siemenpuusto on heikompi taimettumaan kuin harva, mikäli itävää siementä on uudistumistarpeisiin riittävästi (Niemistö ym. 1993 ja Eskelinen 2000). Tässä tutkimuksessa taimia oli seurantajakson lopussa liki saman verran kontrolliruuduilla ja harvennustiheyttä 50 runkoa ha⁻¹ edustavilla koeruuduilla. Tämä vahvistaa ajatusta siitä, että emopuuston tiheyden myötä kiristynyt kilpailu kasvuresursseista ei ole ratkaiseva asia vielä taimettumisvaiheessa (Lehto 1956, Yli-Vakkuri 1961). Kilpailun merkitys korostuu vasta taimikon varttuessa (Niemistö 1993, Valtanen 1998, Eskelinen 2000), jolloin mm. emopuuston läheisyyden on todettu heikentävän oleellisesti taimien pituuskasvua (esim. Niemistö ym. 1993, Strand ym. 2006). Vaikka kontrolliruuduille ei tehty mitään metsänhoidollisia toimenpiteitä, niillä ei esiintynyt pituudeltaan 50 senttimetriä pitempiä taimia kuin muutama. Ilmeisesti Lapin mäntykankailla taimia syntyy kyllä varteenotettava määrä emopuuston alle, mutta niukoista kasvuresursseista ja kovasta kilpailusta johtuu, että taimet eivät pääse kehittämään tästä eteenpäin (Aaltonen 1919).

Kummassakin mallissa lämpösumma ja humuksen paksuus vaikuttivat voimakkaasti uusien taimien määrään. Kyseisten muuttujien on aiemminkin todettu vaikuttavan oleellisesti männyn luontaisen uudistamisen onnistumiseen (Kinnunen ja Mäki-Kojola 1980, Niemistö 1993, Hyppönen 2002, Niemelä 2002, Hallikainen ym. 2007). Niemistön ym. (1993) mukaan humuskerroksen ollessa 4–7 cm luontaisesti syntyneiden männyn taimien määrä oli keskimäärin 60 % ohuempihumuksisten kasvupaikkojen taimimäärästä. Myös Hyppösen (2002) mukaan yhden senttimetrin lisäys humuskerroksen paksuuteen vähentää luontaisesti syntyneiden männyn taimien määrää noin 300 kpl ha⁻¹. Humuksen paksuuden vaikutus taimettumiseen on havaittu myös kylvössä (esim. Hyppönen 1998). Seurantajakson pituus (oliko taimettumiseen kulunut 2 vai 3 vuotta) ei vaikuttanut merkittävästi uusien taimien määrään.

Vaikkakin pieniä eroja taimettumisen ja emopuuston kasvatustiheyden välillä oli havaittavissa, selvää väljennyshakkuun vaikutusta taimettumiseen ei voida tämän tutkimuksen perusteella todeta. Erot kasvatustiheyksien välillä olivat vain paikoin tilastollisesti merkitseviä.

Väljennyshakkuun edullista vaikutusta emopuuston siementuotantoon ei myöskään ollut vielä havaittavissa, sillä siemenmäärä kulki lähestulkoon käsi kädessä emopuuston tiheyden kanssa. Ajan kuluessa siementuotanto tasoittunee eri kasvatustiheyksien välillä puukohtaisten siemenmäärien kasvaessa harvemmillä kasvatustiheyksillä.

Mikäli väljennyshakkuun avulla pystytään luomaan kasvatuskelpoinen taimikko ennen varsinaista uudistushakkuuta, maanmuokkauskustannuksilta säästytään ja kierto- ja uudistamisajat lyhenevät. Väljennyshakkuun avulla voidaan tehdä päätelmiä maanmuokkauksen tarpeellisuudesta luontaisen uudistamisen yhteydessä. Mikäli kasvuolosuhteet ovat siementen itämisen, taimettumisen ja taimien alkukehityksen kannalta suotuisat, taimia syntyy luontaisesti ilman maanmuokkaustakin. Väljennyshakkuu voi olla varteenotettava ja perusteltavissa oleva toimenpide hyvin taimettuvilla kohteilla.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 1. 375 s.
- Beland, M., Agestam, E., Ekö, P.M., Gemmel, P. & Nilsson, U. 2000. Scarification and seedfall affects natural regeneration of Scots pine under two shelterwood densities and a clear-cut in Southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15(2): 247–255.
- Eskelinen, T. 2000. Männyn luontainen uudistaminen Länsi-Lapissa. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 27. Oy Edita Ab, Helsinki. 58 s.
- Fries, J. 1979. Naturlig förnygring inom Siljanfors försökspark. Summary: Natural regeneration within the Siljanfors experimental park. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 2: 96–111.
- Hagner, S. 1965. Om fröproduktion, fröträdval och plantsuppslag i försök med naturlig förnygring. Summary: Yield of seed, choice of seed trees and seedling establishment in experiments with natural regeneration. *Studia Forestalia Suecica* 27. 43 s.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Hyvönen, J. & Niemelä, J. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North- East Finnish Lapland. *Silva Fennica* 41(1): 71–86.
- , Hyppönen, M., Pernu, L. & Puoskari, J. 2010. Family forest owners' opinions about forest management in northern Finland. *Silva Fennica* 44(2): 363–384.
- , Jokinen, M., Parviainen, M., Pernu, L., Puoskari, J., Rovander, S. & Seppä, J. 2006. Inarilaisten käsityksiä metsätaloudesta ja muusta luonnonkäytöstä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2006: 453–474.
- Hokajärvi, T. 1997. Metsänhoito-ohjeet. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 10. Oy, Edita Ab, Helsinki. 60 s.
- Hyppönen, M. 1998. Koneellisen männynkylvön onnistuminen Länsi-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja-Folia Forestalia* 1/1998: 65–74.
- 2002. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä Lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 844. s. 69.
- & Hyvönen, J. 2000. Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapin yksityismetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2000: 589–602.
- Härkönen, J., Keränen, K., Riissanen, N., Tikkanen, J. 2001. Pohjois-Suomen metsänhoitosuositukset. Kajaanin kirjapaino Oy. 60 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. 100 s.
- Kalela, E.K. 1961. Metsät ja metsien hoito. Metsänhoidon alkeita. 2. painos. WSOY, Porvoo. 367 s.
- Karlsson, C. 2006. Fertilization and release cutting increase seed production and stem diameter growth in *Pinus sylvestris* seed trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 317–326.
- Keskimölä, A., Heikkinen, E. & Keränen, K. 2007. Pohjois-Suomen metsänhoitosuositukset 2007. Metsäkeskus Lappi, Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu. Kalevaprint Oy, 58 s.
- Kinnunen, K. & Mäki-Kojola, S. 1980. Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa. *Folia Forestalia* 449. 18 s.
- Kubin, E. 2000. Natural regeneration of forests in Finland. Teoksessa: Forest Regeneration in the Northern Parts of Europe. Proceedings of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar in Vuokatti, Finland, Sept. 28th – Oct. 2nd, 1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 790: 49–59.
- Lehto, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. *Acta Forestalia Fennica* 66. 106 s.
- 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuuspuumenetelmällä. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 67(4): 1–140.
- Niemelä, J. 2002. Männyn luontainen uudistaminen Savukoskella. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 42. 41 s.
- Niemistö, P., Lappalainen, E. & Isomäki, A. 1993. Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys pitkittynyt luontaisen uudistamisvaiheen aikana. *Folia Forestalia* 826. 26 s.

- Norokorpi, Y. 1983. Männyn luontainen uudistaminen Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 57–71.
- Nyyssönen, A. 1995. Väljennyshakkuut. Metsätieteen aikakauskirja 1995(4): 293–302.
- Salokannel, S. 2011. Väljennyshakkuu männyn (*Pinus sylvestris*) luontaisessa uudistamisessa Lapissa. Metsäekologian pro gradu- tutkielma maatalous- ja metsätieteiden maisterin tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos. 76 s.
- Strand, M., Löfvenius, M.O., Bergsten, U., Lundmark, T. & Rosvall, O. 2006. Height growth of planted conifer seedling in relation to solar radiation and position in Scots pine shelterwood. *Forest Ecology and Management* 224: 258–265.
- Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. *Folia Forestalia* 791. 84 s.
- Valtanen, J. 1998. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 693. 77s.
- Yli-Vakkuri, P. 1961 Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. *Acta Forestalia Fennica* 75(1). 122 s.

Poron laidunnuksen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen – alustavia tuloksia

Matti Lappalainen, Ville Hallikainen ja Mikko Hyppönen

1 Johdanto

Pohjois-Suomen metsien käytön erityispiirteenä on, että metsätaloudessa ja poronhoidossa käytetään samoja alueita päällekkäin. Tämä aiheuttaa ristiriitoja näiden maankäyttömuotojen välillä. Ristiriitoja elinkeinojen välillä on ilmennyt 1800-luvun lopusta saakka pohjoisen puun saatua kaupallista arvoa (Helle 2005, Hallikainen ym. 2008). Poronhoitoalueella elää noin 200 000 poroa, joista noin 75 % alueilla, joilla harjoitetaan metsätaloutta (Helle 2002).

Poro kaivaa jäkälää talvella lumen alta lähinnä kuivilla ja kuivahkoilla kankailla. Kaivu vaatii porolta paljon energiaa. Laidunnus voi olla hyvin tehokasta, eli jäkälä käytetään tarkoin ravinnoksi. Helteen (1982) mukaan vaikeiden kaivuolojen alueella kaivukuoppien jäkälästä oli syöty keskimäärin 79 %. Jäkälän syömistarkkuus selittyy jäljellä olevalla vähemmällä jäkälän määrällä. Tarkimmin syödyillä jäkäläalueilla myös sammalten määrät olivat vähäisempiä.

Tehokas laidunnus vähentää jäkälien peittävyyttä ja biomassaa (kuva 1). Laidunnuksen lisäksi jäkälän määrää alentavat myös metsätalouden toimenpiteet ja kasvupaikkojen tuoreutuminen (Matti 2004, 2006). Poron aiheuttama maanmuokkaus voi edistää männyn taimien syntymistä, mutta laidunnus voi myös vahingoittaa taimia.



Kuva 1. Esimerkki laidunnetun ja laiduntamattoman alueen rajalta Kittilän Nilivaarassa. Kuva: Matti Lappalainen

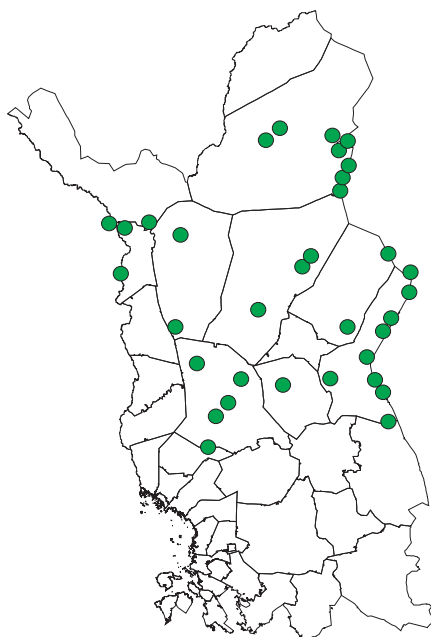
Aikaisemmissa tutkimuksissa on selvitetty poron laiduntamisen vaikutusta männyntaimien kasvuun ja kuntoon poronhoitoalueella (Helle ja Nöjd 1992, Helle ja Moilanen 1993). Laiduntamisen on havaittu aiheuttavan muutoksia männyn taimien kasvuun ja kuntoon (Helle 2005). Tutkimukset ovat keskittyneet lähinnä porojen aiheuttamien tuhojen määrän tutkimiseen. Laidunnuksen vaikutusta luontaisesti syntyneiden männyntaimien lukumääriin ei ole tutkittu aikaisemmin.

Tämän tutkimuksen tärkein tavoite on selvittää laiduntamisen vaikutusta männyn taimien määrään ottaen huomioon muut keskeisimmät taimien syntyyn vaikuttavat tekijät mallinnuksen avulla. Työssä laadittavat mallit ovat alustavia ja niitä on tarkoitus täydentää tulevaisuudessa. Tämä työ perustuu Rovaniemen ammattikorkeakoulussa laadittuun opinnäytetyöhön (Lappalainen 2010).

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusaineisto

Tutkimus liittyy Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsähallituksen yhteisprojektiin ”Pohjois-Suomen metsien uudistaminen”. Aineisto kerättiin Lapissa kesän 2009 aikana seuraavissa poronhoitoalueen kunnissa: Enontekiö, Inari, Kemijärvi, Kittilä, Kuusamo, Muonio, Rovaniemi, Salla, Savukoski, Sodankylä ja Tervola. Aineiston perustana olivat poronhoitoalueella sijaitsevat mäntyvaltaiset kankaat Suomen ja Venäjän välisellä aidatulla rajavyöhykkeellä ja erilaisilla aidatuilla alueilla muualla Lapissa ja Kuusamossa (kuva 2). Aitaamattomien ja aidattujen alueiden metsiköt muodostivat maisemaltaan yhtenäiset vastinparit. Alueiden perusjoukko muodostettiin kaikista tiedossa olevista, aitauksen vuoksi laiduntamattomana olevista metsiköistä ja samoista metsiköistä aitauksen ulkopuolella tai vastaavista maisemaltaan yhtenäisistä, laidunnetuista metsiköistä aitauksen välittömässä läheisyydessä niiden ulkopuolella. Alueet valittiin niin, että ne olivat toisistaan riippumattomia. Vastinpareja mitattiin yhteensä 50 kpl.



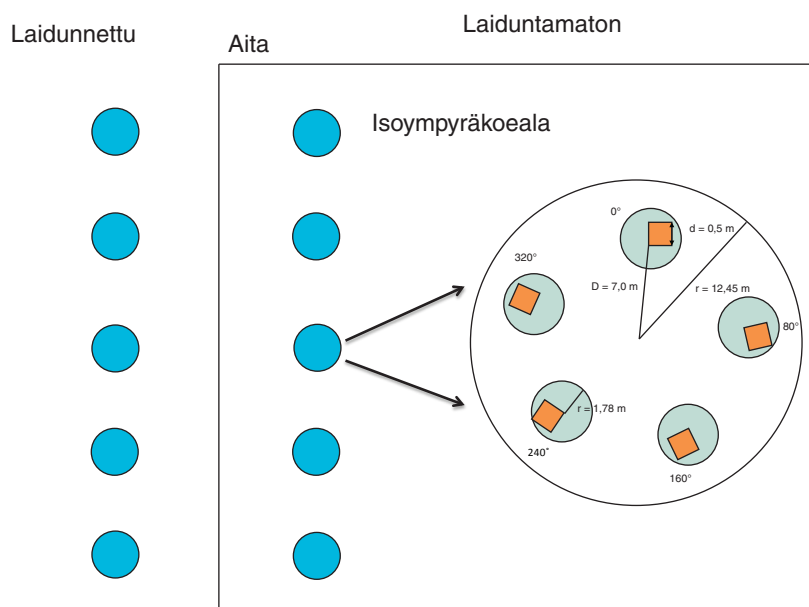
Kuva 2. Tutkimusalojen sijainti.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus toteutettiin vastinparimittauksina (kuva 3). Vastinparit muodostettiin kahden päätekijän mukaan, laidunnettu ja laiduntamaton alue. Laiduntamattomilla alueilla aitaamisesta kulunut aika vaihteli 10 ja 90 vuoden välillä. Vastinparien välinen etäisyys oli maksimissaan yksi kilometri. Alueiden tuli lisäksi olla kasvupaikan sekä puuston mukaan samanlaisia, eikä maaston korkeudessa saanut esiintyä yli kymmenen metrin eroa.

Inventointimenetelmänä käytettiin ympyräkoela-arviointia ja kasvipeiteruutua. Ympyräkoelajoja mitattiin vastinparia kohden viisi kappaletta. Ympyräkoelat sijoitettiin vastinparin sisälle joko suoraan linjaan tai 90 astetta edellisestä ympyrästä pois päin. Ympyräkoelajojen etäisyys toisistaan vaihteli 20 ja 60 metrin välillä. Näiltä isoympyröiltä mitattiin puustotiedot sekä määriteltiin maalaji, maanpinnan käsittely, metsikön kehitysluokka, hakkuut sekä koelan keskipisteen koordinaatit. Puustotiedot mitattiin relaskoopilla ja Vertex-mittalaitteella. Isoympyrässä käytetty säde oli 12,45 m. Jokaiselta isoympyrältä mitattiin viisi pikkuympyräkoelaa, jotka paikannettiin käyttämällä Bussol- mittalaitetta suuntaamiseen sekä Vertex- mittalaitetta etäisyyden mittaamiseen. Pikkuympyröiden etäisyys isoympyrän keskipisteestä oli seitsemän metriä. Pikkuympyröiltä mitattiin taimitiedot ja tehtiin kasvipeiteanalyysi. Taimien mittauksessa käytetyn ympyräkoelan säde oli 1,78 m. Pikkuympyrältä mitattiin taimien lukumäärä sekä pituuden perusteella minimi-, mediaani- ja maksimitaimen tunnuksat. Mitattavia tunnuksia olivat pituus ja ikä. Taimimäärään luettiin mukaan pelkästään elävät männyntaimet.

Kasvipeite arvioitiin käyttämällä 0,25 m²:n suuruista koelaruutua. Koelaruudun vasen ylälaita sijoitettiin pikkuympyrän keskipisteeseen. Kasvipeitteestä arvioitiin kasvuston tila sekä metsälauhan, varpujen, sammalten ja jäkälien peittävyys. Lisäksi kasvipeiteanalyysin yhteydessä arvioitiin lupon ja hakkuutähteiden määrä.



Kuva 3. Koejärjestely.

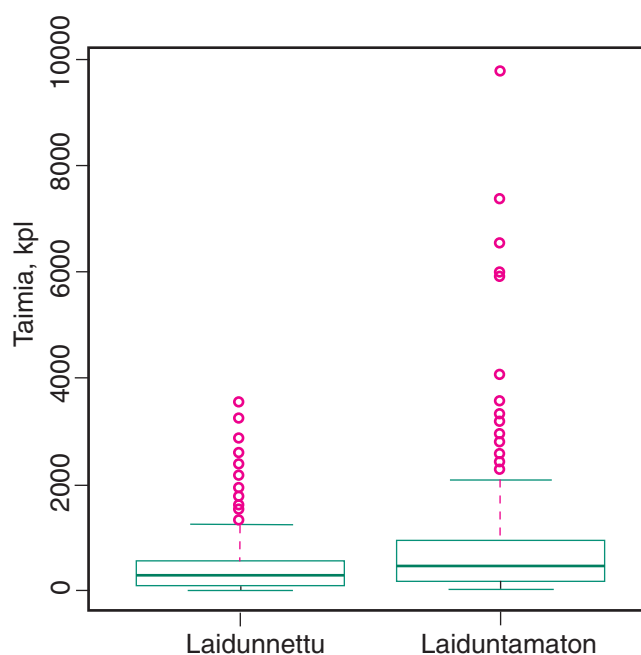
2.3 Tilastolliset analyysit

Tutkimusaineistosta laskettiin tärkeimpiä tunnuslukuja kuten keskiarvo. Jakaumia kuvattiin laatikkojanakuvien avulla. Raaka-aineistosta laskettujen tunnusten lisäksi rakennettiin yleistetty lineaarinen päävaikutusten malli, jossa männyn taimien määrää selitettiin laidunnuksen vaikutuksella sekä koealan puuston ominaisuuksilla (pohjapinta-ala), männyn taimien pituudella (mediaanipituus) ja tiettyjen kasvilajien peittävyydellä (poronjäkälien peittävyys). Nämä muuttujat seuloutuivat lukuisten mitattujen joukosta tässä laadittuun alustavaan malliin. Tärkeimpänä hypoteesina oli testata laidunnuksen vaikutusta. Nollahypoteesin mukaan laidunnetulla ja laiduntamattomalla koealalla on yhtä paljon taimia, kun mallissa otetaan huomioon edellä mainittujen kovariaattimuuttujien vaikutus. Tässä alustavassa mallissa ei testattu muuttujien mahdollisia yhdysvaikutuksia. Malli estimoitiin GEE-estimointia käyttäen. Estimointi ottaa huomioon aineiston hierarkkisesta rakenteesta aiheutuvan korreloituneisuuden (metsiköiden sisällä koealat ovat riippuvia havaintoja). Negatiivinen binomijakauma oli yleistetyin lineaarisen mallin jakaumaoletuksena.

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Aineistosta lasketut taimimäärät

Raaka-aineiston perusteella taimia oli laidunnetulla alueella keskimäärin 2,25 kpl 50 m²:n koealalla ja laiduntamattomalla alueella 4,25 kpl 50 m²:n alalla. Hehtaaria kohden taimia oli laidunnetulla alueella 450 kpl ja laiduntamattomalla alueella 850 kpl. Laiduntamattomilla alueilla taimimäärän hajonta oli huomattavasti suurempi kuin laidunnetuilla alueilla (kuva 4).



Kuva 4. Männyn taimimäärien jakaumat laidunnetuilla ja laiduntamattomilla koealoilla hehtaaria kohden laskettuna.

Tulos viittaa siihen, että myös muut tekijät kuin laidunnus vaikuttavat huomattavasti taimimäärään. Laidunnetuilla alueilla muiden tekijöiden vaikutus ei vain näy yhtä voimakkaasti kuin laiduntamattomilla.

3.2 Mallilla lasketut taimimäärät

Mallin kovariaateilla havaittiin merkitsevä tai suuntaa-antava vaikutus taimien määrään: 1) männyn pohjapinta-alan lisääntyessä taimien määrä vähenee, 2) mitä pitempiä koealan taimet keskimäärin ovat, sitä vähemmän niitä koealalla esiintyy, ja 3) poronjäkälien peittävyysosuuden kasvaessa taimien määrä lisääntyy.

Myös mallin mukaan poron laidunnus vaikuttaa erittäin merkitsevästi koealalla esiintyvien männyntaimien määrään. Mallilla ennustettu taimimäärä on laidunnetulla alueella 2,5 kpl 50 m²:n alalla. Vastaavasti laiduntamattomalla alueella malli ennusti 3,9 kpl 50 m²:n alalla. Hehtaaria kohden taimia on laidunnetulla alueella 500 kpl ja laiduntamattomalla alueella 780 kpl.

4 Päätelmät

Poron laidunnus vaikuttaa oleellisesti männyn taimien syntyyn ja alkukehitykseen varsinkin voimakkaasti laidunnetuilla alueilla. Taimimääriä arvioitaessa on otettava huomioon, että valtaosa metsiköistä, joissa koealat sijaitsivat, oli varttuneita metsiköitä. Tutkimuksessa selvitetään näin ollen lähinnä männyn taimien syntymistä alikasvoksena varttuneen puuston alle ja metsikön aukoihin.

Tutkimuksen mukaan taimia syntyy laidunnetullekin alueelle kohtalaisesti ottaen huomioon, että kyse on pääosin alikasvoksesta. Ennustettu taimimäärä kuitenkin merkitsee, että metsiköitä uudistettaessa taimettumisesta täytyy tavalla tai toisella huolehtia, jottei taimikko jäisi liian harvaksi. Laiduntamattomillakaan alueilla taimikon tiheys ei metsätaloudellisessa mielessä riitä ilman uudistamistoimenpiteitä eli siemenpuuhakkuuta tai kylvöä. Toisaalta alikasvosten merkitys on Lapin männyntaimikoiden synnyssä havaittu merkittäväksi. Hyppösen ja Hyvösen (2000) mukaan jopa puolet Lapin yksityismetsien männyn ylispuutaimikoista oli syntynyt alikasvoksina ilman luontaisen uudistamisen toimenpiteitä.

Laidunnetuilla alueilla on mallin ennusteiden mukaan noin kaksi kolmasosaa laiduntamattomien alueiden taimimäärästä. Mielenkiintoinen kysymys on, vaikuttaako laidunnus yhtä voimakkaasti taimien määrään uudistusaloilla. Porot oleskelevat tuulisilla uudistusaloilla räkkäaikaan ja voivat tallata tai muuten vioittaa taimia. Varttuneet, harvahkot mäntymetsät ovat hyviä talvilaitumia jäkälän ja lupon vuoksi. Porot oleskelevat tällaisissa metsissä talviaikaan, ja intensiivinen kaivaminen voi vioittaa taimia tehokkaasti. Laidunnuksen taimia vähentävällä vaikutuksella voi olla merkitystä mäntymetsien uudistumiseen varsinkin karuimmissa uudistumisolosuhteissa kuten Pohjois-Suomen korkeilla alueilla ja metsänrajaseuduilla.

Laidunnuksella on myös välillistä positiivista ja negatiivista vaikutusta taimimääriin. Jäkälän kaivamisen seurauksena pakkastuhot lisääntyvät. Poron aiheuttamat mekaaniset vauriot kuten sarvien hankaaminen männyn taimien runkoon vahingoittaa taimia. Poro voi myös edistää taimettumista muokkaamalla maata jäkälänkaivun yhteydessä. Metsätalouden kannalta olisikin toivottavaa, että uudistamisen alkuvaiheessa porot kaivaisivat uudistusaloilla ja taimettumisen jälkeen taas pysyisivät sieltä muutaman vuoden poissa (Hyppönen 2008). Laidunnuksen seurauksena heikentynyt lumipeite vähentää männyn talvihomeen esiintymistä (Helle ja Moilanen 1993).

Tämä alustava malli antanee kohtalaisen hyvän kuvan laidunnettujen ja laiduntamattomien koealojen taimimäärien eroista. Tarkemmassa mallinnuksessa on tarkoitus testata koealoilta mitattujen puustoa kuvaavien muuttujien ja kasvipeitteen vaikutusta perusteellisemmin kuin tässä työssä oli mahdollista. Lisäksi testataan varsinkin laidunnuksen ja puustomuuttujien mahdollinen yhdysvaikutus: ei ole itsestään selvää, että esimerkiksi puuston pohjapinta-alan lisääntyminen vaikuttaa taimimääriin samalla tavoin laidunnetuilla ja laiduntamattomilla alueilla. Myös mallin sopivuus aineistoon tulee analysoida tulevilla laskennoissa

Kirjallisuus

- Hallikainen, V., Helle, T., Hyppönen, M., Ikonen, A., Jokinen, M., Naskali, A., Tuulentie, S. & Varmola, M. 2008. Luonnon käyttöön perustuvat elinkeinot ja niiden väliset suhteet Ylä-Lapissa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2008: 191–219.
- Helle, T. 1982. Peuran ja poron jäljillä. Kirjayhtymä Oy, Vaasa. 159 s.
- 2002. Metsät ja porotalous. Julkaisussa: Hyvämäki, T. (toim.). Tapion taskukirja, 24. uudistettu painos. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio & Metsälehti Kustannus, Helsinki, s. 293–297.
 - 2005. Metsänuudistaminen ja poronhoito. Julkaisussa: Hyppönen, M., Hallikainen, V. & Jalkanen, R. (toim.). Metsätaloutta kairoilla – Metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, s. 199–204.
 - & Moilanen, H. 1993. The effects of reindeer grazing on the natural regeneration of *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research 8(3): 395–407.
 - & Nöjd, P. 1992. Poron laidunnuksen vaikutus männyn kasvuun ja kuntoon. Julkaisussa: Nikula, A., Varmola, M. & Lahti, M-L. (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437: 5–15.
- Hyppönen, M. 2008. Metsät ja porotalous. Julkaisussa: Rantala, S. (toim.). Tapion Taskukirja. 25. uudistettu painos. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio & Metsälehti Kustannus, Hämeenlinna, s. 256–258.
- & Hyvönen, J. 2000. Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapin yksityismetsissä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2000: 589–602.
- Lappalainen, M. 2010. Poron laidunnuksen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 29 s.
- Mattila, E. 2004. Porojen eräiden ravintokasvien esiintyminen poronhoitoalueella Kainuun merkkipiirissä ja poronhoitoalueen ulkopuolisella alueella Kainuussa 2002–2003 – vertaileva tutkimus aluetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 930. 42 s.
- 2006. Porojen talvilaitumien kunto poronhoitoalueen etelä- ja keskiosien merkkipiireissä 2002–2004 ja kehitys 1970-luvun puolivälistä alkaen. Metlan työraportteja 27. 76 s. Osoitteessa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp027.pdf>.

Männyn syyskylvön onnistuminen Lapissa

Mikko Hyppönen ja Ville Hallikainen

1 Johdanto

Kylvö on kustannuksiltaan halpa männynviljelymenetelmä, joka soveltuu lähinnä kuivahkoille ja kuiville kankaille, Pohjois-Suomessa myös tuoreille kasvupaikoille (Hyvän... 2006, Keskimölo ym. 2007). Kylvö voidaan yhdistää luontaiseen uudistamiseen jättämällä kylvettävälle alueelle siemenpuita tai kylvämällä siemenpuualoja (Hokajärvi 1997, Hyppönen ym. 2001, Keskimölo ym. 2007). Tällaisia sekamenetelmiä käytetään erityisesti korkealla merenpinnasta sijaitsevilla mailla ja suojametsäalueella Lapin pohjoisosissa.

Tarve alentaa metsänuudistamisen kustannuksia on vahvistanut kylvön asemaa, varsinkin kun siementä on viimeaikoina ollut saatavilla ja koneellinen kylvö on todettu käyttökelpoiseksi menetelmäksi (Korhonen ja Kumpare 1994, 1995, Hyppönen 1998, Kinnunen 2003). Suurin osa männynkylvöistä tehdään nykyisin koneellisesti maanmuokkauksen yhteydessä (Hyppönen 2000). Kylvön koneellistaminen on alentanut kylvökustannuksia.

Kevät ja alkukesä toukokuun puolivälistä kesäkuun loppuun on todettu parhaaksi männyn kylvöajaksi (Pohtila ja Pohjola 1985, Kinnunen 1992, Winsa ja Sahlén 2001, de Chantal ym. 2003). Koneelliselle kylvölle sovelias aika on tätäkin lyhyempi, koska maanmuokkaukoneet pääsevät maastoon vasta roudan sulamisen ja maan kuivumisen jälkeen sekä maaston kantavuuden parantuttua. Sovelias kylvöaika keväällä on siis varsin lyhyt (Kinnunen 1996, Hyppönen 1998, 2000). Muutenkin useissa tutkimuksissa korostetaan aikaisen kylvöajankohdan merkitystä

Kylvöajan pidentämiseksi on harkittu erilaisia vaihtoehtoja. Yksi näistä on kylvö myöhään syksyllä (Hedemann-Gade 1927, Kinnunen 1982, Nygren ja Leinonen 1992), vaikka tulokset syyskylvöstä eivät ole olleetkaan yleensä kovin rohkaisevia (esim. Wibeck 1927, Heikinheimo 1940, Kangas 1940, Kinnunen 1992, 1996). Wibeckin (1927) mukaan männyn syyskylvö onnistuu paremmin pohjoisessa kuin etelässä. Syinä tähän hän mainitsee, että syksy on pohjoisessa suhteellisesti kuivempi kuin etelässä, ja että maanpinta jäätyy pohjoisessa aikaisemmin. Siemenet eivät tällöin ime vettä ennen talvea ja kestävät jäätyksen hyvin.

Eräät tutkimustulokset viittaavat siihen, että erityisesti pohjoisessa siemenet voivat säilyä maassa useita vuosia (Renvall 1912, Lassila 1920, Wibeck 1927, Sirén 1952). Jälki-itäminen näyttää olevan yhteydessä kasvukauden sääoloihin siten, että epäsuotuisina kesinä osa siemenistä jää itämättä ja että mitä huonommin siemen on tuleentunut, sitä suurempi osa siitä niin sanotusti jälki-itää (Sarvas 1937, Häggman 1987). Siementen jälki-itämisellä on merkitystä erityisesti ankarissa ilmasto-olosuhteissa (Lassila 1920, Sirén 1952, Tillman-Sutela 1995). On siten mahdollista, että syyskylvö soveltuu erityisesti Pohjois-Suomeen, mikä voisi mahdollistaa kylvökauden pidentämisen niin, että toinen kylvöjakso ajoittuisi myöhäissyksyyn (Nygren ja Leinonen 1992). Kasvukausi on silloin ohi, eikä maahan kylvetty siemen enää idä eikä jäädy ja sula edestakaisin ennen seuraavaa kasvukautta, vaan säilyy maassa itämättä keväaseen asti (esim. Kinnunen 1996). Myös tämän suuntaisia tuloksia on saatu (Hedemann-Gade 1927, Kangas 1940, Kinnunen 1982).

Metsähallitus on Lapissa toteuttanut syyskylvöjä jonkin verran noin vuosikymmenen ajan. Myöhäissyksyn kylvöistä pohjoisen Suomen oloissa ei ole ollut juurikaan tutkimustietoa käytettävissä. Tässä raportissa esitellään, miten Metsähallituksen suorittamat männyn syyskylvöt ovat onnistuneet käytännön mittakaavassa. Tulokset perustuvat kirjoittajien aiemmin julkaisemaan tutkimukseen (Hyppönen ja Hallikainen 2011).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää:

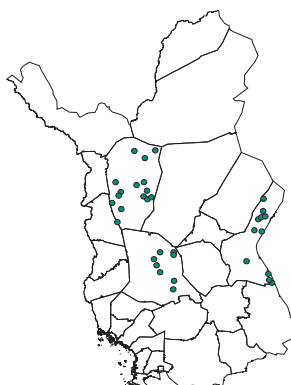
1. Miten käytännön syyskylvöt ovat onnistuneet Lapissa käyttäen kriteereinä taimikon tiheyttä (männyntaimien kokonaismäärä, kehityskelpoisten männyntaimien määrä, kuusen- ja koivuntaimien määrä), tilajärjestystä (aukkoisuus) ja pituuden kehitystä.
2. Mitkä tekijät ovat vaikuttaneet uudistamisen onnistumiseen.

2 Aineisto ja menetelmät

Aineisto koostuu Metsähallituksen Länsi- ja Itä-Lapin alueilla vuosijaksolla 1997–2005 tekemistä männyn syyskylvöistä. Kaikki kylvöt oli tehty syyskuun puolivälin jälkeen, Rovaniemellä ja Sallassa lokakuussa. Otokseen poimittiin 50 kaikkien toteutettujen syyskylvöjen perusjoukosta satunnaisesti poimittua uudistusalaa. Maastomittaukset tehtiin kesällä 2008. Inventoinnissa käytettiin soveltuvin osin Hallikaisen ym. (2004) ns. Lapin lain varoin viljeltyjen uudistusalojen inventoinnissa käyttämää linjoittaisen ympyräarvioinnin menetelmää. Säteeltään 1,78 metrin ja pinta-alaltaan 10 m²:n koealojen lukumäärä vaihteli 15–25 välillä metsikön pinta-alasta riippuen. Koealoja mitattiin yhteensä 908 kpl. Koealoilta laskettiin kaikkien puulajien taimet, myös ns. vaihtuva taimiaines (< 10 cm).

Uudistusalat sijaitsivat Kittilän, Rovaniemen ja Sallan kuntien alueilla (kuva 1). Uudistusalojen keskimääräinen korkeus merenpinnasta on noin 250 m (Rovaniemi 197 m, Salla 275 m, Kittilä 251 m). Ojansuun ja Henttosen (1983) malleilla laskettu uudistusalojen keskimääräinen pitkän ajan lämpösumma on 735 d.d. (Rovaniemi 817 d.d., Salla 717 d.d., Kittilä 704 d.d.).

Kaikki uudistusalat oli muokattu äestämällä, vaikka koealoittain esiintyi vähäisessä määrin muitakin muokkausmenetelmiä. Hakkuutapana oli 32 tapauksessa avohakkuu ja 18 tapauksessa siemenpuuhakkuu. Uudistusalat jakautuivat eri muuttujien suhteen seuraavasti. Kasvupaikkatyypit: tuoreet kankaat 3, kuivahkot kankaat 42 ja kuivat kankaat 5 uudistusalaa; Ekspositio: tasamaa 16, pohjoinen 14, itä 7, etelä 9 ja länsi 4 uudistusalaa; Topografia: tasamaa tai rinne 49 uudistusalaa ja notkelma 1 uudistusalaa; Muokatun alan osuus: 0 % 1, 1–25 % 35, 26–50 % 12 ja > 50 % 3 uu-



Kuva 1. Tutkittujen uudistusalojen sijainti.

distusala. Uudistusalan keskikoko oli 6,1 ha. Noin puolet uudistusaloista oli kooltaan enintään viisi hehtaaria.

Aineiston mallinnuksessa käytettiin yleistettyjä lineaarisia sekamalleja. Kokonaistaimimäärän mallissa negatiivinen binomijakauma oli jakaumaoletuksena. Kehityskelpoisten taimien määrä mallinnettiin multinomiaalisella sekamallilla. Hierarkkiset tasot malleissa olivat metsikkö- ja koealataso. Metsikkökohtaiset keskiarvotulokset laskettiin alkuperäisestä aineistosta. Koealakoh- taiset tulokset esitetään taimettumismallien tuottamien ennusteiden perusteella.

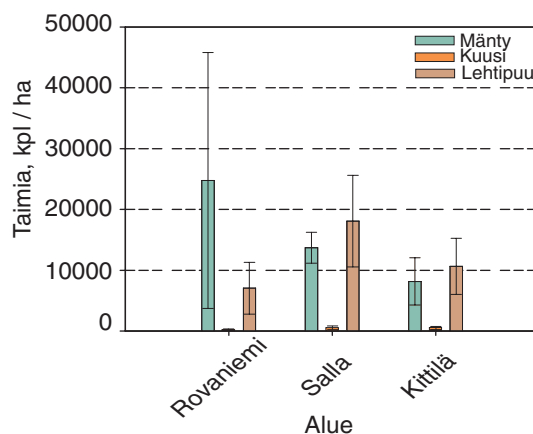
3 Tulokset

3.1 Metsikkökohtaiset keskiarvotulokset

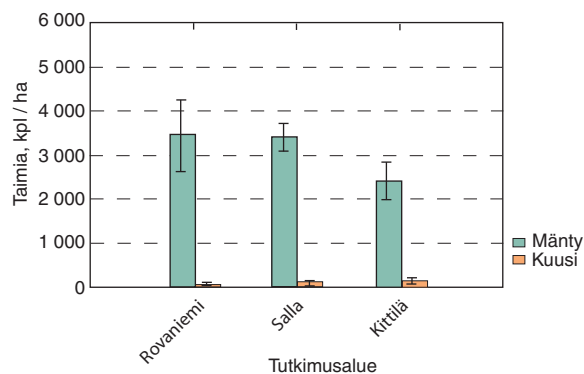
*Männyn*taimien kokonaismäärä vaihteli välillä 1 200 kpl/ha ja 110 700 kpl/ha (taulukko 1). Keskimäärin taimia oli yli 14 000 kpl/ha. Luontaisesti syntyneitä kuusentaimia oli keskimäärin lähes 500 kpl/ha. Lisäksi uudistusaloilla oli runsaasti lehtipuiden taimia (kuva 2). Männyn- taimien kokonaismäärä oli keskimäärin vähintään 8 000 kpl/ha kaikkien kuntien alueilla. Taimia oli eniten

Taulukko 1. Havupuuntaimien määrä keskimäärin uudistusaloilla.

	Keskiarvo	Mediaani	Keskiahajonta	Minimi	Maksimi
Männyn- taimien kokonais- määrä, kpl/ha	14 023	9 980	16 569	1 200	109 733
Kehityskelpoisten männyn- taimien määrä, kpl/ha	3 040	3 133	1 006	760	5 000
Kuusentaimien kokonais- määrä, kpl/ha	475	287	534	0	2 867
Kehityskelpoisten kuusentai- mien määrä, kpl/ha	118	67	141	0	600
Havupuuntaimia yhteensä, kpl/ha	14 498	10 267			
Kehityskelpoisia havupuun- taimia yhteensä, kpl/ha	3 158	3 200			



Kuva 2. Taimien kokonaismäärä keskimäärin uudistusaloilla alueittain ja puulajeittain sekä sekä 95 %:n luotamusväli.

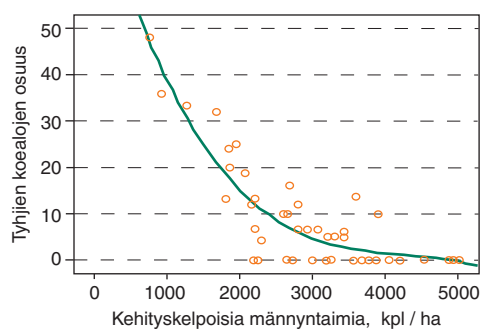


Kuva 3. Kehityskelpoisten taimien määrä keskimäärin uudistusaloilla alueittain ja puulajeittain sekä 95 %:n luottamusväli.

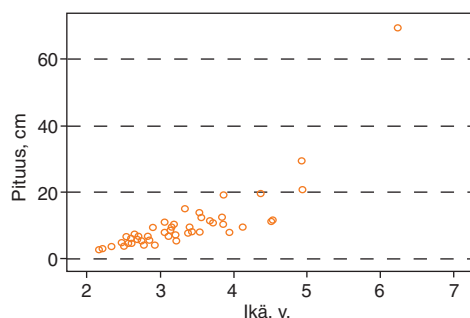
Rovaniemellä ja vähiten Kittilässä (kuva 2). Männyntaimien kokonaismäärä oli suurin kuivahkoilla kankailla (15 000 kpl/ha) ja pienin tuoreilla kankailla (4 500 kpl/ha).

Männyntaimista oli *kehityskelpoisia* (ks. Aatsinki ym. 2008) noin 3 000 kpl/ha ja kuusentaimista noin 100 kpl/ha. Kehityskelpoisia männyntaimia oli suunnilleen yhtä paljon Rovaniemellä ja Sallassa, vähiten Kittilässä. Taimia oli kaikissa kunnissa vähintään 2 400 kpl/ha (kuva 3). Kaikki uudistusalat olivat kehityskelpoisia ja vain kaksi niistä edellytti täydennysviljelyä. Kehityskelpoisia männyntaimia oli kuivahkoilla ja kuivilla kankailla noin 3 000 kpl/ha ja tuoreilla kankailla 1 800 kpl/ha. Kehityskelpoiset kuusentaimet mukaan luettuna kehityskelpoisia taimia oli tuoreilla kankaillakin noin 2 000 kpl/ha. Tuoreen ja kuivan kankaan uudistusaloja oli aineistossa niin vähän, että kasvupaikkatyypeittäisiin tuloksiin on syytä suhtautua varauksin.

Aukkoisuus eli tyhjien koalojen osuus oli uudistusaloilla keskimäärin 8,1 % (kuva 4). Kahdessa kolmesta uudistusalasta aukkoisuus oli alle 10 %.



Kuva 4. Kehityskelpoisten männyntaimien määrän (kpl/ha) ja tyhjien koalojen osuuden (%) välinen suhde uudistusaloilla.



Kuva 5. Taimien iän ja pituuden välinen suhde metsiköittäin.

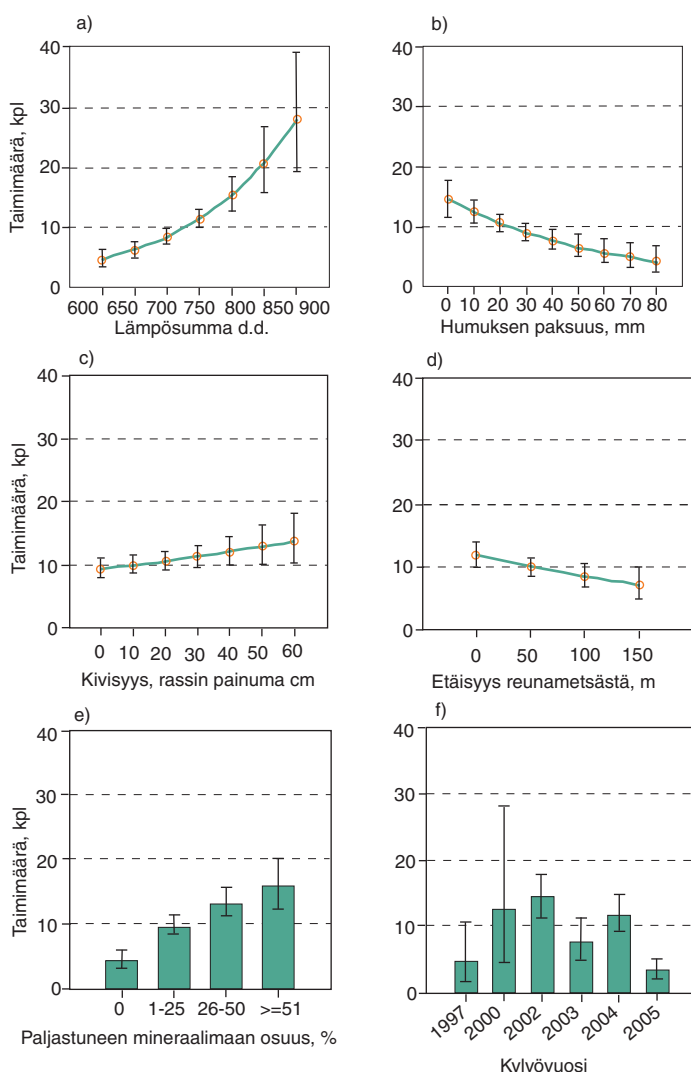
Uudistusaloilla nuorten kylvötaimikoiden *keski-ikä* oli 3–4 vuotta kaikilla alueilla. Taimikoiden *keskipituus* oli kolmen vuoden iällä noin 7 cm ja 4 vuoden iällä noin 14 cm (kuva 5).

3.2 Koealakohtaisten taimettumismallien tulokset

*Männyn*taimien kokonaisuudelle lasketun mallin mukaan taimimäärään vaikuttivat positiivisesti muokkauksella paljastetun kivennäismaan osuus ja lämpösusma sekä negatiivisesti kivisyys, humuksen paksuus ja koealan etäisyys reunametsästä (kuva 6). Myös kylvövuosien välillä oli mallin mukaan merkitseviä eroja.

Yhteen malliversioon otettiin mukaan selittäväksi muuttujaksi myös alue (Kittilä, Rovaniemi ja Salla). Näin muodostetun mallin alueille tuottamat arvot poikkesivat lasketusta keskiarvotuloksesta. Ero tuli näkyviin Rovaniemen tuloksissa, joiden tulokinnassa on huomattava, että tulokset on suhteutettu lämpösusmaan. Mallilla laskettu ennustettu taimimäärä on noin 10 000 tainta hehtaarilla, kun aineistosta laskettu vastaava arvo on noin 23 000 tainta hehtaarilla. Muiden kuntien osalta aineistosta suoraan lasketut ja mallilla ennustetut taimimäärät vastasivat hyvin toisiaan.

Muokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuus ja lämpösusma vaikuttivat mallin mukaan voimakkaimmin taimimäärään. Ennustettu taimimäärä lähes kuusinkertaistuu lämpösusman



Kuva 6. Männyn taimien kokonaisuudelle lasketun mallin mukaan taimimäärään vaikuttavien tekijöiden ennusteet (kpl/10m²). Malli on kuvattu tarkemmin julkaisussa Hyppönen ja Hallikainen 2011.

noustaessa kuudestasadasta d.d.-yksiköstä tuhanteen. Mikäli vähintään puolet koealasta oli paljastunutta kivennäismaata, taimimäärä lähes nelinkertaistui muokkaamattomaan koealaan verrattuna (kuva 6a, 6e). Myös humuksen paksuus vaikutti melko voimakkaasti taimimäärään: kahdeksan senttimetrin humus pudotti taimimäärän noin kolmannekseen humuksettomaan maahan verrattuna (kuva 6b). Vuosien väliset erot tulivat kokonaistaimimäärämallissa selvästi esille, vuoden 2005 kylvöt onnistuivat huonoiten (kuva 6f).

Kehityskelpoisten männyntaimien määrälle lasketun multinomiaalisen mallin mukaan muokatun alan osuus ja lämpösumma lisäsivät taimettumistodennäköisyyttä. Humuksen paksuus, kivisyys ja etäisyys reunametsästä taas vähensivät taimettumistodennäköisyyttä (taulukko 5). Myös alue vaikutti merkittävästi, mikäli se otettiin mukaan malliin. Vuosien välinen ero tuli kehityskelpoisten taimienkin mallissa selvästi esille. Vuoden 2005 kylvöt onnistuivat selvästi huonoiten.

Multinomiaalisen mallin ennusteiden mukaan humuksen paksuus vaikuttaa tulokseen voimakkaasti. Mallin mukaan koealalta löytyy vähintään kaksi kehityskelpoista männyntainta, mikä vastaa hehtaariheittä 2000 kpl, noin 55 %:n todennäköisyydellä, jos humuksen paksuus on 5,0 cm. Todennäköisyys on 85 %, jos humuksen paksuus on 2,5 cm.

Multinomiaalisen mallin ennusteiden mukaan koealalta löytyy vähintään kaksi kehityskelpoista männyntainta Rovaniemellä ja Sallassa noin 90 ja Kittilässä 80 prosentin todennäköisyydellä. Vastaavasti koealalta löytyy vähintään kaksi tainta 97 %:n todennäköisyydellä, jos muokatun maan osuus on yli 50 % ja 80 %:n todennäköisyydellä, jos muokatun maan osuus on 1–25 %.

4 Tarkastelu ja päätelmiä

Ohjeiden ja suositusten mukaan männyn oikea kylvöajankohta on kevät ja alkukesä (Hokajärvi 1997, Keskimölo ym. 2007). Tätä tukevat monet kylvöajankohtaa koskevat tutkimukset (Pohtila ja Pohjola 1985, Kinnunen 1992, Winsa ja Sahlén 2001, de Chantal ym. 2003). On kuitenkin todettava, että useimmissa tutkimuksissa syksy ei ole edes ajankohtavaihtoehtona mukana, vaan niissä kylvöaika rajoittuu yleensä keväeseen ja kesään. Lähes kaikkien niidenkin tutkimusten mukaan, joissa syksy on vaihtoehtona mukana, syksy ei ole osoittautunut oikeaksi ajankohdaksi männyn kylvöön (Heikinheimo 1940, Kangas 1940, Kinnunen 1992, 1996), vaikka poikkeuksiaakin tästä on (Hedemann-Gade 1927, Kinnunen 1982).

Tässä tutkimuksessa männyn syyskylvö oli kuitenkin suositusten ja useimpien tutkimustulosten vastaisesti onnistunut Lapissa hyvin. Uudistusaloilla oli männyntaimia keskimäärin 14 000 kpl/ha eli vähintään yhtä paljon kuin kevätkylvöjen onnistumista Pohjois-Suomen oloissa käsitellessä tutkimuksissa viime aikoina on havaittu (esim. Hyppönen 1998, Wall ja Kubin 2000, Hallikainen ym. 2004). Tiheyden puolesta vain kaksi uudistusalaa 50:stä edellytti inventointivaiheessa täydennysviljelyä.

Viitteitä siitä, että myöhäinen syyskylvö voisi joissakin olosuhteissa onnistua, on saatu aiemminkin (Hedemann-Gade 1927, Kinnunen 1982). Syyskylvössä on tärkeää, että siemenet eivät edestakaisin sula ja jäädy ja näin vaurioidu, eivätkä enää idä routimiselle ja muille talvihuhoille aroiksi sirkkataimiksi. Roudan ja jään on havaittu olevan pahimpia siementen ja taimien tuhoutumiseen vaikuttavia tekijöitä (Kinnunen 1982, Bergsten ym. 2001, de Chantal ym. 2002, Winsa ja Bergsten 1994, Wennström ym. 1999, 2007). Tässä tutkimuksessa uudistusalat oli kylvetty lokakuussa, joten hankalimmilta säiden vaikutuksilta lienee Lapin olosuhteissa säästyty.

Luonnon täydennyksellä on tärkeä merkitys männyn viljelyssä (Kinnunen 1993, 1996, Hallikainen ym. 2004). Niinpä kylvöaloilla kasvavat taimet syntyvät aina sekä kylvösiemenistä että reunametsästä ja siemen- ja säästöpuista lentäneistä siemenistä (Kinnunen 1992, Wall ja Kubin 2000). Tässäkin tutkimuksessa siemeniä on tullut uudistusaloille reunametsästä ja uudistusaloilla olleista siemen- ja säästöpuista. Kylvöt ajoittuivat pitkänajan keskiarvoa lämpimämpään ilmastojaksoon, joten siemenvuosia lienee ollut tavallista useammin (ks. Hyppönen ja Kemppe 2002). Luonnontaimia ei pystytty erottamaan kylvötaimista, elleivät ne olleet kylvötaimia vanhempia. Uudistamisen lopputuloksen kannalta asialla ei liene suurta merkitystä.

Kangashumuksella on tunnetusti haitallinen vaikutus männyn uudistumiseen (Pohtila ja Pohjola 1985, Kinnunen 1992, Hyppönen 1998, Wall ja Kubin 2000). Näin oli tässäkin tutkimuksessa. Koelatasen mallien mukaan humuksen paksuus vaikutti negatiivisesti männyntaimien määrään. Vastaavasti myös maaperän kivisyys huononsi uudistamistulosta. Sama havainto on tehty uudistamistutkimuksissa aiemminkin (Kinnunen 1993, Hyppönen ym. 2005, Kankaanhuhta ym. 2009).

Lämpösumma vaikutti männyntaimien kokonaismäärään ja kehityskelpoisten männyntaimien määrään positiivisesti. Tulos vastaa niitä Lapin olosuhteissa saatuja uudistamistutkimusten tuloksia, joissa lämpösumman on havaittu vaikuttavan positiivisesti ja maaston korkeuden vastaavasti negatiivisesti taimien syntymiseen ja eloonjäämiseen (Pohtila ja Valkonen 1985, Valkonen 1992, Hyppönen 2002, Hallikainen ym. 2004, 2007). Myös muokatun maan osuus vaikutti positiivisesti taimien määrään (ks. myös Pohtila ja Pohjola 1985, Hallikainen ym. 2004).

Uudistamisen onnistumisen lopullista arviointia ajatellen metsänviljelyt olivat vielä nuoria. Tässä suhteessa syyskylvöt ja niiden tuloksena syntyneet taimikot eivät poikkea samanikäisistä kevään ja alkukesän kylvöistä syntyneistä nuorista taimikoista. Kummillakin ovat vielä samat riskit edessään Lapin karuissa luonnonoloissa, joissa taimia kuolee vielä pitkään taimikon vanhetessa (Mäkitalo 1999, Hallikainen 2004).

Tutkimuksen tulokset ovat ainutlaatuisia ja poikkeavat lähes kaikista aikaisemmista tutkimuksista (ks. kuitenkin Hedemann-Gade 1927, Kinnunen 1982). Tulokset antavat vahvoja viitteitä siitä, että myöhäinen syksy on varteenotettava vaihtoehto keväälle ja alkukesälle männyn kylvössä ainakin Lapissa. Selvittellessään männyn ja kuusen siementen itämisekologiaa myös Nygren ja Leinonen (1992) päätyivät kirjallisuustarkastelun perusteella samaan tulokseen korostaen samalla lisätutkimusten tarvetta. Syyskylvö mahdollistaisi kokonaan uuden kylvösesongin ja pidentäisi koneellisen kylvön käyttöaikaa.

Kirjallisuus

- Aatsinki, P., Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Jauhiainen, P. 2008. Syyskylvön onnistuminen Metsähallituksen mailla Pohjois-Suomessa. Tutkimussuunnitelma ja kenttätyöohje. Moniste. 10 s.
- Bergsten, U., Goulet, F., Lundmark, T. & Löfvenius, M.O. 2001. Frost heaving in a boreal soil in relation to soil scarification and snow cover. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1084–1092.
- de Chantal, M., Leinonen, K., Ilvesniemi, H. & Westman, J. 2003. Combined effects of site preparation, soil properties, and sowing date on the establishment of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* from seeds. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 931–945.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Hyvönen, J. & Niemelä, J. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland. *Silva Fennica* 41(1): 71–88.

- , Hyppönen, M., Jalkanen, R. & Mäkitalo, K. 2004. Metsänviljelyn onnistuminen Lapin yksityismetsissä vuosina 1984–1995. Metsätieteen aikakauskirja 1/2004: 3–20.
- Hedemann-Gade, E. 1927. Undersökningar angående lämpligaste tiden för sådd av barrträdsfrö. Summary: Investigations regarding the most suitable time for sowing coniferous seed. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 25: 5–50.
- Heikinheimo, O. 1940. Metsäpuiden taimien kasvatusta taimitarhassa. Referat: Versuch ins Baumschulen. Communicationes instituti Forestalis Fenniae 29(1): 1–97.
- Hokajärvi, T. (toim.). 1997. Metsänhoito-ohjeet. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 10. 60 s.
- Hyppönen, M. 2000. Artificial regeneration techniques in Finland. Julkaisussa: Mätkönen, E., Babich, N.A., Krutov, V.I. & Markova, I.A. (toim.). 2000. Forest Regeneration in the Northern Parts of Europe. Proceedings of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar in Vuokatti, Finland, Sept. 28th–Oct. 2nd, 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 790: 159–167.
- 1998. Koneellisen männynkylvön onnistuminen Länsi-Lapissa. Metsätieteen aikakauskirja — Folia Forestalia 1/1998: 65–74.
- 2002. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 844. 69 s. + liitteet.
- & Hallikainen, V. 2011. Factors affecting the success of autumn direct seeding of *Pinus sylvestris* L. in Finnish Lapland. Scandinavian Journal of Forest Research 26(6): 515–529.
- & Kemppe, T. 2002. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen Etelä-Lapissa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2002: 19–27.
- , Alenius, V. & Valkonen, S. 2005. Models for the establishment and height development of naturally regenerated *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. Scandinavian Journal of Forest Research 20: 347–357.
- , Härkönen, J., Keränen, K., Riissanen, N. & Tikkanen, J. (toim.). 2001. Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksset. Kajaanin Kirjapaino Oy. 60 s.
- Hyvän metsänhoidon suosituksset. 2006. Tapio. 100 s.
- Häggman, J. 1987. Voiko männynsiemen jälki-itää? Julkaisussa: Saarenmaa, H. & Poikajärvi, H. (toim.). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 115–122.
- Kangas, E. 1940. Tuloksia Pohjankankaan ja Hämeenkanan metsänviljelyksistä. Referat: Ergebnisse der Waldkulturen auf den Heiden Pohjankangas und Hämenkangas. Acta Forestalia Fennica 49.4. 64 s.
- Kankaanhuhta, V., Saksa, T. & Smolander, H. 2009. Variation in the results of Norway spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in southern Finland. Silva Fennica 43(1): 51–70.
- Keskimölä, A., Heikkinen, E. & Keränen, K. (toim.). 2007. Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksset 2007. 58 s.
- Kinnunen, K. 1982. Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa. Summary: Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland. Folia Forestalia 531. 24 s.
- 1992. Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen. Summary: Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of Scots pine. Folia Forestalia 785. 45 s.
- 1993. Männyn kylvö ja luontainen uudistaminen Länsi-Suomessa. Abstract: Direct sowing and natural regeneration of Scots pine in western Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 447. 36 s.
- 1996. Kevät- ja syyskylvön onnistuminen eri puulajeilla. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593: 4–9.
- 2003. Konekylvön käyttökelpoisuus männyn uudistamisessa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2003: 69–72.
- Korhonen, P. & Kumpare, T. 1994. Koneellisesti kylvettyjen uudistusalojen taimettumistulokset hyviä. Metsähallitus, kehittämissyksikkö. Tiedote 2. 5 s.
- & Kumpare, T. 1995. TTS-Sigma kylvölaite Bräcke-mätäslaikkurin lisälaitteena. Metsähallitus, kehittämissyksikkö. Tiedote 5. 4 s.
- Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Referat: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreis. Acta Forestalia Fennica 14(3). 98 s.
- Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of

- Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512–525.
- Nygren, M. & Leinonen, K. 1992. Puulajiemme laboratorio- ja kenttäitävyydestä. Julkaisussa: Smolander, H. & Pulkkinen, M. (toim.). Siemenpäivät Siilinjärvellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426: 59–78.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen ilmatieteen laitoksen mittauksista. Summary: Estimation of local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurement made by the Finnish Meteorological Office. *Silva Fennica* 17(2): 143–160.
- Pohtila, E. & Pohjola, T. 1985. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa. Summary: Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. *Silva Fennica* 19(3): 245–270.
- & Valkonen, S. 1985. Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä. Summary: Development and condition of artificially regenerated pine and spruce sapling stands in the privately owned forests of Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 631. 19 s.
- Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Produktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. *Acta Forestalia Fennica* 1(2). 154 s.
- Sarvas, R. 1937. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine waldbiologische Untersuchung auf den trockenen Heideböden Nord-Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 46. 147 s.
- Sirén, G. 1952. Havainnot Peräpohjolan valtionmailla vuosina 1948–50 suoritetuista männynkylvöistä. Summary: Observations on pine sowings on state-owned lands in Peräpohjola (Far North) in 1948–1950. *Silva Fennica* 78. 30 s.
- Tillman-Sutela, E. 1995. Structural and seasonal aspects on the imbibition and germination of northern conifer seeds. *Acta Universitatis Ouluensis A* 266. 28 s.
- Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. Summary: Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland. *Folia Forestalia* 791. 84 s.
- Wall, A. & Kubin, E. 2000. Maanmuokkaustavan ja maalajin vaikutus männyn hajakylvön onnistumiseen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2000: 5–17.
- Wennström, U., Bergsten, U. & Nilsson, J.-E. 1999. Mechanized microsite preparation and direct seeding of *Pinus sylvestris* in boreal forests – a way to create desired spacing at low costs. *New Forests* 18: 179–198.
- , Bergsten, U. & Nilsson, J.-E. 2007. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: Effects of seed type, seed origin, and seeding year. *Silva Fennica* 41(2): 299–314.
- Wibeck, E. 1927. Vår- eller höstsådd. Summary: Spring or autumn sowing. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 23: 217–294.
- Winsa, H. & Bergsten, U. 1994. Direct seeding of *Pinus sylvestris* using microsite preparation and invigorated seed lots of different quality. 2-year results. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 77–86.
- & Sahlén, K. 2001. Effects of invigoration and microsite preparation on seedling establishment after direct sowing of *Pinus sylvestris* L. at different dates. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 422–428.

Kivenäismaan ilmatilan vaihtelu ja istutettujen männyntaimien pituuskasvu Lapissa

Kari Mäkitalo, Juha Heiskanen, Virpi Alenius ja Kari Mikkola

1 Johdanto

Etelä- ja Keski-Lapin metsämaista on VMI:n mukaan noin 49 % tuoreita kankaita ja 43 % kuivahkoja kankaita (Tomppo ym. 2005). Noin 85 % näistä kasvupaikoista on moreenimailla, joista 92 % luokiteltiin keskikarkeiksi, 7 % hienojakoisiksi ja 1 % karkeiksi. Metsätyypin ja maalajin välillä ei ole todettu olevan yksiselitteistä riippuvuutta, mutta kuivat kankaat ja karukkokankaat esiintyvät kuitenkin keskimäärin karkeajakoisemmillä mailla kuin tuoreet kankaat (Urvas ja Erviö 1974, Sepponen ym. 1979). Vastaavasti luontaiset kuusikot kasvavat keskimäärin hienojakoisemmillä mailla kuin männiköt, ja kivennäismaan vesipitoisuus on kuusikoissa suurempi kuin männiköissä (Sepponen ym. 1979). Maan raekokojakauma ja etenkin hienojen maalajitteiden osuus vaikuttaa maan vedenpidätyskykyyn ja siten myös maan vesipitoisuuteen. Maan vesipitoisuuteen ja sen vaihteluun vaikuttaa lukuisa joukko muitakin tekijöitä kuten esim. topografia, maakerroksen paksuus, pohjavesipinnan korkeus, maan vedenjohtavuus, latvuspäntä, haihduttavan kasvilisäyksen ja puuston määrä ja laatu sekä sadanta ja lämpötila (Heiskanen 2003).

Lapin männynviljelyaloilla on ajoittain esiintynyt laajamittaisia tuhoja – ja eniten aiemmin kuusta kasvaneilla kuvioilla. Maaperän epäedullisia fysikaalisia ominaisuuksia pidettiin 1960-luvun männyn taimituhojen tärkeimpänä syynä. Pääteltiin, että taimien juuret kärsivät ajoittain maan korkeasta vesipitoisuudesta ja alhaisesta ilmatilasta kulotetuilla tai laikutetuilla aloilla (Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978). Tuhoja on sittemmin havaittu auratuillakin aloilla. Vaikka auraspalsteissa olosuhteet säilyvät pitkään taimien juurten kasvulle edullisina (Mäkitalo ja Hyvönen 2004, Mäkitalo ym. 2006, Heiskanen ym. 2007), juuret kasvavat ajan myötä ilmavasta palteesta välialueeseen ja jopa vakojen maahan (Rusanen 1986), joiden vesipitoisuuteen aurauksen ei ole todettu vaikuttavan (Mannerkoski ja Möttönen 1990, Mäkitalo ja Hyvönen 2004, Mäkitalo ym. 2006, Heiskanen ym. 2007).

Maan dielektrisyydelle eli sähkönjohtavuudelle on eri julkaisuissa esitetty ylärajoja, joita suuremmilla arvoilla mäntyä ei Lapissa luontaisesti esiinny ja männynviljely vastaavasti epäonnistuu. Viimeisin ehdotus dielektrisyysrajaksi on 15, mikä vastaa noin $0,27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ vesipitoisuutta (Sutinen ym. 2002a, 2002b). Myöhemmät tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että kesän sateet ja mittausajankohta aiheuttavat vaihtelua maan dielektrisyyteen (vesipitoisuuteen) (Mäkitalo ym. 2006, Mäkitalo ja Heiskanen 2010, Mäkitalo ym. 2010). Toisaalta maankäsittelyllä voidaan vaikuttaa taimien elossaoloon (Mäkitalo 1999, 2009a). Näin ollen, vaikka maan vesipitoisuus korreloikin taimien elossaolon kanssa, ei yksittäisten dielektrisyysmittausten käyttöä voi pitää riittävänä menetelmänä kasvupaikan puulajiluokitteluun (Mäkitalo 2009a, 2009b, Mäkitalo ym. 2010).

Paitsi taimien elossapysymiseen, maan vesipitoisuus voi vaikuttaa myös taimien kasvuun. Maan vedenpidätyskyvyn kasvun on havaittu lisäävän puiden kasvua Lapin kuivien kankaiden kasvupaikoilla, joiden maaperä on lajittunutta ja karkeajakoista (Viro 1962). Näillä kasvupaikoilla puut saattavat Viron (1962) mukaan kärsiä kuivina kasvukausina vedenpuutteesta. Niillä kuusivaltaisilla kasvupaikoilla, jotka ovat maaperältään hienojakoista moreenia, maan korkea vesipitoisuus ja alhainen ilmatila heikentävät taimien kasvua (Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Maa voi olla lähes veden kyllästämä viikkokausia lumen sulamisen ja voimakkaiden sateiden jälkeen etenkin korkeilla kasvupaikoilla, joilla on talvella paksu lumipeite ja kesällä alhainen ilman ja maan lämpö-

tila. Minimi-ilmatila puiden juurten kasvulle on tutkimusten mukaan $0,10\text{--}0,15\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ ja hyvään kasvuun tarvitaan vähintään $0,20\text{ m}^3\text{ m}^{-3}$ (Heiskanen 1993, Wall ja Heiskanen 2003). Maan ilmatilan vaikutusta männyn taimien kasvuun ei muutamaa varhaisvaiheen tutkimusta lukuun ottamatta (Lähde 1978, Lähde ym. 1981) ole tutkittu Lapissa. Varsinkaan pitkäaikaisista vaikutuksista ole tutkimustietoa saatavilla.

Ilmastonmuutoksen on ennustettu kohottavan keskilämpötilaa ja lisäävän sademääriä myös kasvukauden aikana (Jylhä ym. 2009, Lapin ilmastonmuutoskuvaus... 2010). Muutokset ilman lämpötilassa ja sademäärässä heijastuvat maan vesipitoisuuteen ja ilmatilaan (Gärdenäs ja Jansson 1995, Kellomäki ja Väisänen 1996). Maassa tapahtuvat muutokset voivat osaltaan vaikuttaa puiden kasvuoloihin ja puulajisuhteisiin. Männyn osuuden on ennustettu Lapissa pienenevän ja kuusen osuuden vastaavasti kasvavan ilmastonmuutoksen seurauksena seuraavan 100 vuoden kuluessa (Kellomäki ja Leinonen 2005). Vastaavasti puuston vuotuisen kasvun on samassa ajassa ennustettu lähes kaksinkertaistuvan (Kellomäki ym. 2008). Ennusteet perustuvat kuitenkin Lapin maaperän osalta rajalliseen aineistoon, ja lisää tutkimustietoa tarvitaan ilmastonmuutoksen vaikutuksista maan fysikaalisiin olosuhdekijöihin.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kivennäismaan juurikerroksen fysikaalisia ominaisuuksia ja ilmatilan vaihtelua sekä niiden vaikutusta männyntaimien keskipituuteen Lapissa 25–27 vuoden kuluttua viljelystä. Tutkimukset keskittyivät kasvupaikoille, joiden maaperä on keskikarkeaa moreenia. Prosessilähtöisen maamallin avulla selvitettiin maanprofiilin ilmatilan vaihtelua nykyisessä ja tulevassa ilmastossa yhdellä mäntyvaltaisella ja yhdellä kuusivaltaisella koekentällä. Tämä raportti on yhteenveto pääasiassa kolmesta tutkimuksesta: Mäkitalo (2009a), Mäkitalo ym. (2010) sekä Mäkitalo ja Heiskanen (2010).

2 Aineisto- ja menetelmät

Tutkimusaineisto kerättiin kahdeksalta Etelä- ja Keski-Lapissa sijaitsevalta metsänviljelyn koekentältä (kuva 1), joista neljä oli hakkuuta edeltävältä puustoltaan kuusivaltaisia (1–4) ja neljä mäntyvaltaisia (5–8) (Pohtila 1977, Mäkitalo 1999). Koekentillä viljeltiin mäntyä vuosina 1975–1977 neljällä eri maankäsittelymenetelmällä käsitellyille aloille (kulotus, laikutus, äestys ja auraus). Viljelytiheys oli 2500 tainta hehtaarilla. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vain kennotaimia, joiden pituus inventoitiin syyskesällä 2001, jolloin viljelystä oli kulunut 25–27 kasvukautta (Mäkitalo ym. 2010).

Vuosina 1995–1996 koekentiltä kerättiin näytteet maan pintakerroksen (0–15 cm) raekokojakauden, huokostilan ja vedenpidätyskyvyn määrittämiseksi kaikkiaan 96 koealalta, joista 32 koealalta (4 koealaa/koekenttä) kerättiin näytteet viideltä syvyydeltä (Mäkitalo ja Heiskanen 2010). Laboratorioanalyysit on esitetty yksityiskohtaisesti Heiskasen ja Mäkitalon (2002) julkaisussa. Laboratoriossa mitatut vedenpidätysarvot mallitettiin RETC-ohjelmalla (Van Genuchten ym. 1991), jonka tuottamilla parametreilla (Van Genuchten 1980) laadittiin vedenpidätys- ja ilmatila/matriisipotentialikäyrät eri koekentille (Mäkitalo 2009a).

Elo- ja lokakuussa vuonna 1993 koealoilta (96 kpl) mitattiin maan dielektrisyys kivennäismaan pintakerroksesta (0–30 cm) kertamittauksina kapasitanssimenetelmällä (Mäkitalo ja Hyvönen 2004). Vuosina 1995–1996 mittaukset tehtiin samoilta koealoilta kivennäismaan pintakerroksesta (0–15 cm) kesä-syyskuussa TDR-menetelmällä pysyviä antureita käyttäen (viisi anturia/koeala), kolme kertaa ensimmäisenä ja viisi kertaa toisena kesänä (Mäkitalo ym. 2006, Mäkitalo 2009a). Mittaukset tehtiin koealojen muokkausjälkien ulkopuolelta käsittelemättömistä välialueista sekä

auratuilla koealoilla myös aurauspalsteista. Tässä tutkimuksessa käytettiin vain välialueiden mitausaineistoa. Dielektrisyys muunnettiin tilavuusvesipitoisuudeksi Topp ym. (1980) esittämällä yhtälöllä. Huokostilan ja vesipitoisuuden erotuksena saatiin maan ilmatila (Heiskanen ja Mäkitalo 2002).

Koska vesipitoisuuden ja ilmatilan jatkuva, päivittäinen seuranta ei tutkimuksessa ollut mahdollista eikä monitorointiakaan voitu toteuttaa kuin kolmena kesänä, vesipitoisuuden ja ilmatilan vaihtelua tutkittiin maamallin avulla. CoupModel-mallilla (Jansson ja Karlberg 2007) mallitettiin vesipitoisuuden päivittäinen vaihtelu huhti-lokakuussa 30 vuoden ajalle (1974–2003) mineraalimaan 0–15 cm:n kerroksessa 32 maaprofiilissa (4/koekenttä) käyttäen Sodankylän observatorion säätietoja (Mäkitalo ja Heiskanen 2010). Malli kalibroitiin Siperiassa Metlan Kivalon tutkimusalueella (Mäkitalo 2005). Maaprofiilien kokonaispaksuus oli 138 cm, ja niissä oli humuskerros (3 cm) ja yhdeksän mineraalimaakerrosta (15 cm). Topografialtaan maaprofiilit sijaitsivat tasaisessa maastossa eikä niiden pinnalla ollut pintakasvillisuutta tai puustoa (Mäkitalo ja Heiskanen 2010). Tällä pyrittiin jäljittelemään tilannetta avohakkuu jälkeen.

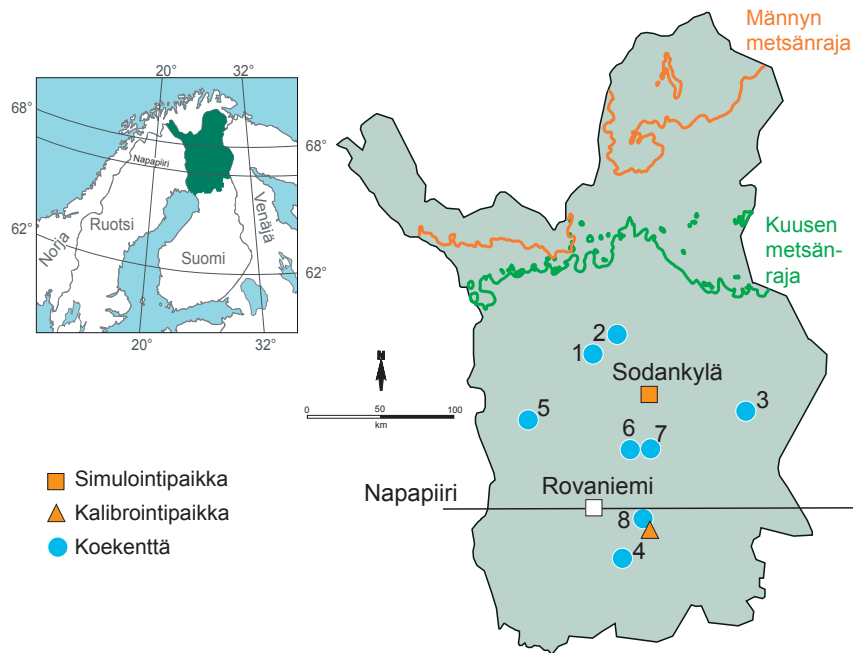
Tässä tutkimuksessa vertailtiin erityisesti vedenpidätysominaisuuksiltaan kahta erilaista kasvupaikkaa, mäntyvaltaista koekenttää 8 ja kuusivaltaista koekenttää 2 Sodankylän observatorion säätietojen avulla. Molemmat koekentät ovat pintakerroksen maalajiltaan hienoa hiekkamoreenia. Koekentän 8 kenttäkapasiteetin (-10 kPa) ilmatila on $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ja lakastuspisteeseen (-1500 kPa) ilmatila $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Koekentän 2 vastaavat arvot ovat $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ja $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Ilmastonmuutoksen vaikutusten tutkimiseksi Sodankylän säätietoja muokattiin siten, että päivittäisiin lämpötiloihin tehtiin lisäys vuodenajoittain taulukon 1 mukaisesti. Vastaavasti sademääriin tehtiin prosentuaalinen lisäys, mutta sateiden frekvenssiin ei tehty muutoksia. Muut muuttujat, kuten tuulen voimakkuus, säteily ja ilmankosteus pidettiin ennallaan. Näin saatiin säätiedot vuosille 2074–2103. Taulukon 1 arvot perustuvat Ilmatieteen laitoksen julkaisemiin muutosskenaarioihin, jotka pohjautuvat 19 maailmanlaajuisen ilmastomallin tuloksiin. Niitä laadittaessa A1B-, A2- ja B1-päästöskenaariot on kukin oletettu yhtä todennäköisiksi (Jylhä ym. 2009).

Maankäsittelyn sekä mitattujen maan eri ominaisuus- ja olosuhdetekijöiden vaikutusta männyntaimien keskipituuteen tutkittiin sekamalleilla, jotka on esitetty yksityiskohtaisesti Mäkitalon (2009a) ja Mäkitalon ym. (2010) julkaisuissa. Kuusivaltaisilla kasvupaikoilla kerätyn aineiston avulla tutkittiin myös, onko männyntaimille edullista kasvaa maassa, joka saavuttaa tietyn ilmatilan kynnyсарvon mahdollisimman korkealla matriisipotentiaalin arvolla eli käytännössä mahdollisimman pian ns. sulamisvesipiikin tai voimakkaiden sateiden jälkeen. Edelleen selvitettiin, mikä on se kynnyсарvo, jonka saavuttaminen selittää sekamalleissa parhaiten keskipituuden vaihtelua.

Taulukko 1. Päivittäisten keskilämpötilojen ja sademäärien muutokset vuosille 2070–2099 ilmastonmuutoksen vaikutuksesta vuodenajoittain Jylhän ym. (2009) mukaan.

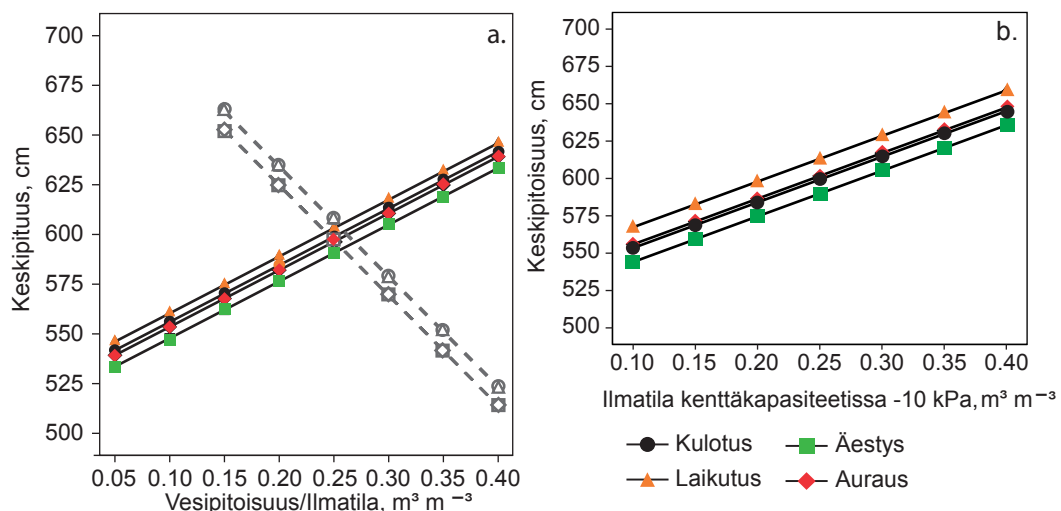
Vuodenaika	Lämpötila, °C	Sadanta, %
Talvi	+6,1	+23
Kevät	+4,0	+16
Kesä	+2,8	+11
Syksy	+3,8	+15
Koko vuosi	+4,2	+16



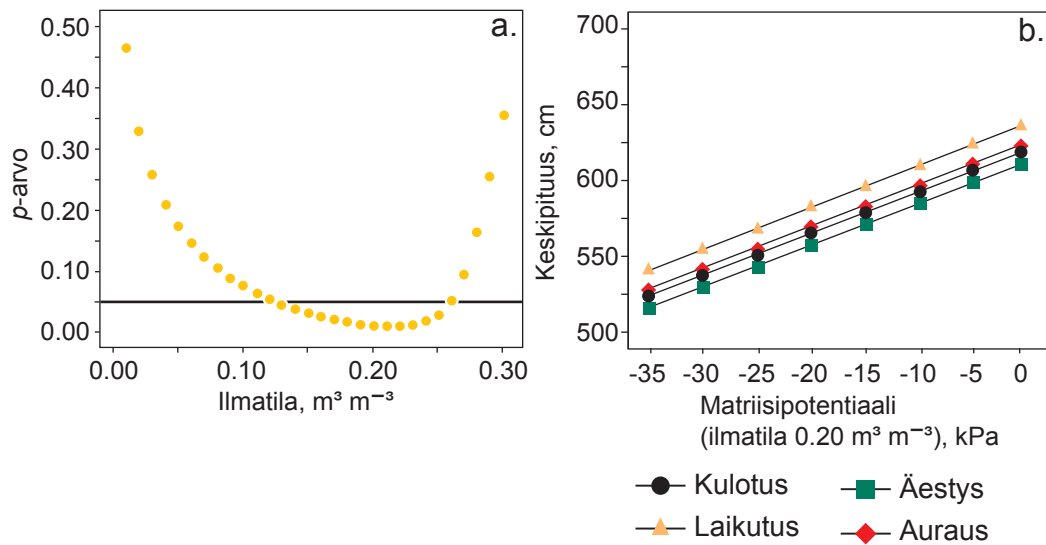
Kuva 1. Koekenttien sekä COUP-mallin simulointi- ja kalibrointipaikan sijainti. Koekentät 1–4 ovat kuusivaltaisilla ja 5–8 mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla.

3 Tutkimuksen tulokset ja niiden tarkastelu

Maankäsittelymenetelmä vaikutti männynntaimien keskipituuteen 25–27 vuoden kuluttua viljelystä, kun tarkasteltiin koko aineistoa tai mäntyvaltaisia kasvupaikkoja (Mäkitalo 2009a, Mäkitalo ym. 2010). Taimet olivat kasvaneet kulotetuilla koealoilla tilastollisesti merkittävästi paremmin kuin äestetyillä koealoilla. Tulos selittyy todennäköisesti kulotuksen pitkäaikaisella maan ra-



Kuva 2. Eri maankäsittelyissä kasvaneiden männynntaimien keskipituuden riippuvuus käsittelemättömien välialueiden keskimääräisestä (1995–1996) maan vesipitoisuudesta (harmaat kuvaajat) ja ilmatilasta (a) sekä maan ilmatilasta kenttäkapasiteetin (matriisipotentiaali -10 kPa) vesipitoisuudessa (b) kuusivaltaisilla kasvupaikoilla (koekentät 1–4).



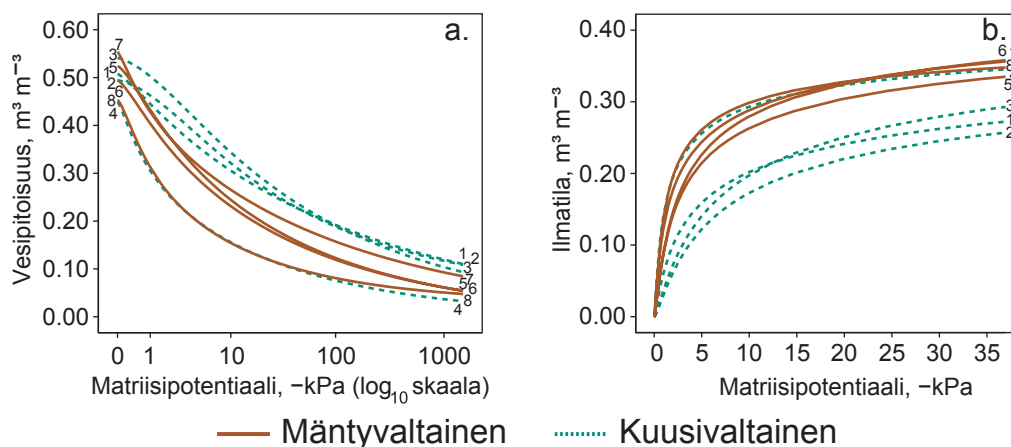
Kuva 3. Tilastolliset merkitsevyydet (p -arvo) (a) erikseen eri maan ilmatilan kynnyksarvoille ($\leq 0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) laadituille malleille, joilla mallitettiin kynnyksarvon saavuttamiseen vaadittavan matriisipotentiaalin ja maankäsittelyn vaikutusta männyn taimien keskipituuteen, sekä em. malli laskettuna $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ilmatilalle (b).

vinnetaloutta parantavalla vaikutuksella (Mäkitalo 2009a). Maastossa 1995–1996 mitattu keskimääräinen vesipitoisuus vaikutti negatiivisesti ja ilmatila positiivisesti keskipituuteen koko ai-
neistossa (Mäkitalo 2009a, Mäkitalo ym. 2010).

Kuusivaltaisilla kasvupaikoilla erot eri maankäsittelyjäljissä kasvaneiden taimien keskipituuksien välillä olivat pienet (kuva 2a). Toisin kuin mäntyvaltaisilla, maan fysikaaliset ominaisuus- ja olo-
suhdetekijät vaikuttivat tilastollisesti merkitsevästi keskipituuteen kuusivaltaisilla kasvupaikoilla. Suuri maan vesipitoisuus heikensi taimien pituuskasvua (kuva 2a). Vastaavasti keskipituus oli sitä suurempi, mitä suurempi oli maan ilmatila kenttäkapasiteetin vesipitoisuudessa (matriisipotentiaali -10 kPa) (kuva 2b) tai maastossa mitattu keskimääräinen ilmatila kasvukaudella (kuva 2a).

Pintamaan matriisipotentiaali selitti tilastollisesti merkitsevästi (p -arvo $< 0,05$) taimien keskipituutta, kun maan ilmatilan kynnyksarvo oli välillä $0,13$ – $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (kuva 3a). Kasvupaikalla, jossa juurten hyvälle kasvulle esitetty kynnyksarvo $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Heiskanen 1993) saavutettiin lähes kyllästystekosteudessa, taimet olivat kasvaneet noin metrin pidemmiksi kuin sellaisella kasvupaikalla, jossa kynnyksarvo saavutettiin vasta -35 kPa matriisipotentiaalilla (kuva 3b). Tulokset tukevat aiempia tutkimustuloksia maan ilmatilan merkityksestä juurten ja verson kasvulle (Heiskanen 1993). Zou ym. (2001) laboratoriotutkimuksen mukaan radiatamännyn juurten kasvu oli suurimmillaan, kun maan ilmatila oli $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Wall ja Heiskanen (2003) raportoivat yksivuotisten kuusentaimien pituuskasvun olleen suurin, kun ilmatila oli maan humuspitoisuudesta riippuen $0,20$ – $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

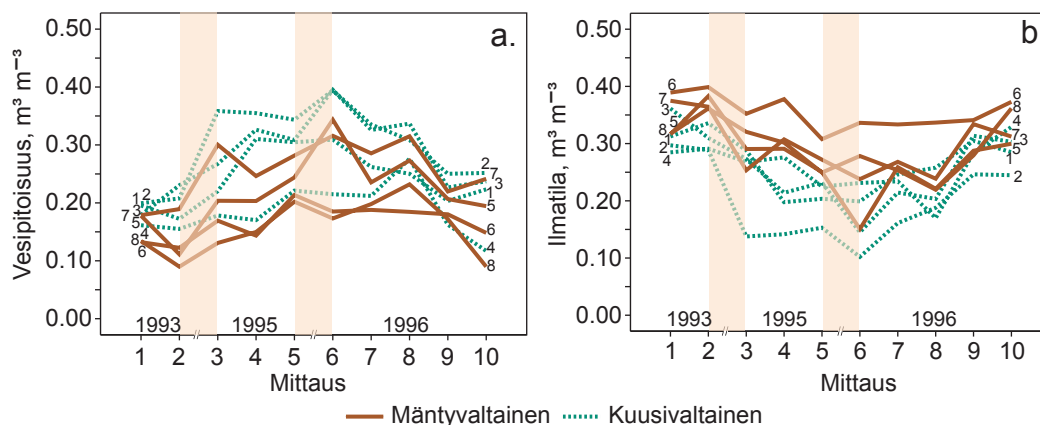
Kuusivaltaisilla kasvupaikoilla kivennäismaan pintakerroksen vedenpidätyskyky oli suurempi (kuva 4a) kuin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla. Poikkeuksena oli koekenttä 4, jonka maan vedenpidätyskyky, kuten myös ilmatila (kuva 4b), oli samaa tasoa kuivimman mäntyvaltaisen kasvupaikan kanssa. Muut kolme kuusivaltaista kasvupaikkaa erottuivat ilmatilakäyriltään selvästi mäntyvaltaisista kasvupaikoista. Maan ilmatila jäi kenttäkapasiteetissa (matriisipotentiaali -10 kPa) kolmella kuusivaltaisella koekentällä alle hyvän juurtenkasvun edellytyksenä olevan $0,20$



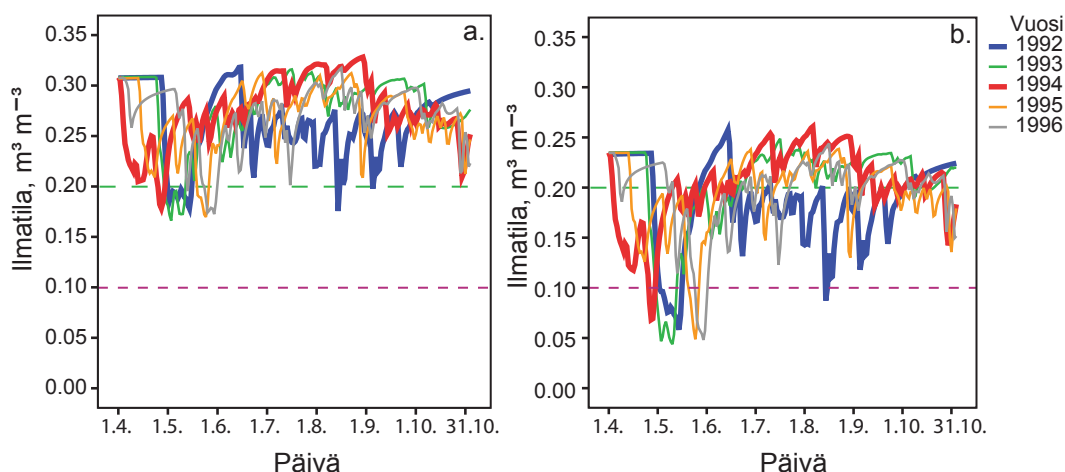
Kuva 4. Laboratoriossa määritetty kivennäismaan pintakerroksen vesipitoisuuden (a) ja ilmatilan (b) riippuvuus maan matriisipotentiaalista kahdeksalla koekentällä.

$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ tason, kun taas mäntyvaltaisilla koekentillä tuo kynnyksarvo saavutettiin jo alle -5 kPa matriisipotentiaalissa. Heiskasen ja Mäkitalon (2002) julkaisemassa tutkimuksessa, jossa tämänkin tutkimuksen koekentät olivat mukana, noin 80 %:ssa mäntyvaltaisista kasvupaikoista kenttäkapasiteetin vesipitoisuus oli $<0,30 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ ja ilmatila $>0,20 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$. Kuusivaltaisilla kasvupaikoilla vastaavat arvot olivat $>0,30 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ ja $<0,20 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$.

Maastossa mitatut pintamaan vesipitoisuudet (kuva 5a) ja niiden perusteella lasketut ilmatilat (kuva 5b) viittasivat samanlaisiin eroihin mänty- ja kuusivaltaisien kasvupaikkojen välillä kuin aiemmin esitetyt erot vedenpidätysominaisuuksissa (kuvat 4a ja 4b). Kuusivaltaisilla kasvupaikoilla maan vesipitoisuus oli kasvukauden aikana suurempi ja ilmatila pienempi kuin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla, mikä tukee aiempien tutkimusten tuloksia (Sepponen ym. 1979, Sutinen ym. 2002a). Kuusivaltaisella koekentällä 4 rikastumiskerroksen anturamuodostuman (orstein) (Ritari ja Ojanperä 1984) aiheuttama orsivesi-ilmio pitää maan pintakerroksen kosteampana kuin mäntyvaltaisella koekentällä 8, vaikka niiden vedenpidätys- ja ilmatilakäyrät olivat lähes identtiset (kuvat 4a ja 4b). Vaihtelua tuloksiin tuo myös mm. maakerroksen syvyyden sekä topografian vaihtelu



Kuva 5. Maastossa mitattu kivennäismaan pintakerroksen vesipitoisuus (a) ja ilmatila (b) kahdeksalla koekentällä kesällä 1993 ja 1995–1996.



Kuva 6. Sodankylän observatorion sää tietojen pohjalta CoupModel-mallilla (Jansson ja Karlberg 2007) lasketut kivennäismaan pintakerroksen ilmatilat vuosina 1992–1996 mäntyvaltaisen koekentän 8 (a) ja kuusivaltaisen koekentän 2 (b) maaprofiileissa 1.4.–31.10. välisenä aikana.

koalojen välillä (Mäkitalo ja Hyvönen 2004, Mäkitalo ym. 2006, Mäkitalo 2009a). Kuusivaltaisella koekentällä 2 hienojen, alle 0,06 mm:n lajitteiden osuus oli huomattavasti korkeampi (45 % alle 2 mm:n lajitteista) kuin mäntyvaltaisella koekentällä 8 (13 %), mikä selittää erot koekenttien vedenpidätyskyvyssä (kuvat 4a ja 4b).

Kun tarkasteltiin CoupModel-mallilla laskettua pintamaan ilmatilan vaihtelua vuosina 1992–1996 voitiin havaita, että maan ilmatila vaihteli selvästi sekä vuosien että koekenttien välillä (kuva 6). Sateisena kasvukautena 1992 maan ilmatila oli mäntyvaltaisella koekentällä alle $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ keskimäärin kahdeksana päivänä 140:stä (kuva 6a, taulukko 2). Vastaava aika kuusivaltaisen kasvupaikan maassa oli 104 päivää, ja lumen sulamisen aiheuttaman ilmatilan laskun lisäksi ilmatila painui myös keskellä kasvukautta runsaiden sateiden takia jopa alle $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (kuva 6b).

Taulukko 2. Kasvukausien 1992, 1994, 2092 ja 2094 ajankohtatiedot, lämpötila- ja sadetiedot, keskimääräinen vesipitoisuus ja ilmatila pintamaassa sekä ilmatilaltaan alle $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ vuorokausien määrä ja niiden osuus kasvukaudesta mäntyvaltaisen koekentän 8 ja kuusivaltaisen koekentän 2 maassa Sodankylässä.

Vuosi	Mäntyvaltainen koekenttä 8				Kuusivaltainen koekenttä 2			
	1992	1994	2092	2094	1992	1994	2092	2094
Alku, pvm	13.5.	30.5.	26.4.	2.4.	13.5.	30.5.	26.4.	2.4.
Loppu, pvm	30.9.	15.9.	8.10.	1.10.	30.9.	15.9.	8.10.	1.10.
Pituus, vrk	140	108	165	182	140	108	165	182
Sulamisvesipiikki, pvm	14.5.	27.4.	12.4.	6.4.	14.5.	27.4.	12.4.	5.4.
Lämpösumma, d.d.	798	755	1291	1220	798	755	1291	1220
Sadesumma, mm	490	126	580	235	490	126	580	235
Keskilämpötila, °C	10,6	12,0	12,8	11,5	10,6	12,0	12,8	11,5
Vesipitoisuus, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	0,21	0,16	0,20	0,18	0,30	0,25	0,29	0,27
Ilmatila, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	0,25	0,30	0,26	0,28	0,18	0,23	0,19	0,21
Ilmatila $<0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, vrk	8	0	6	5	104	19	111	59
Ilmatila $<0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, %	6	0	4	3	74	18	67	36

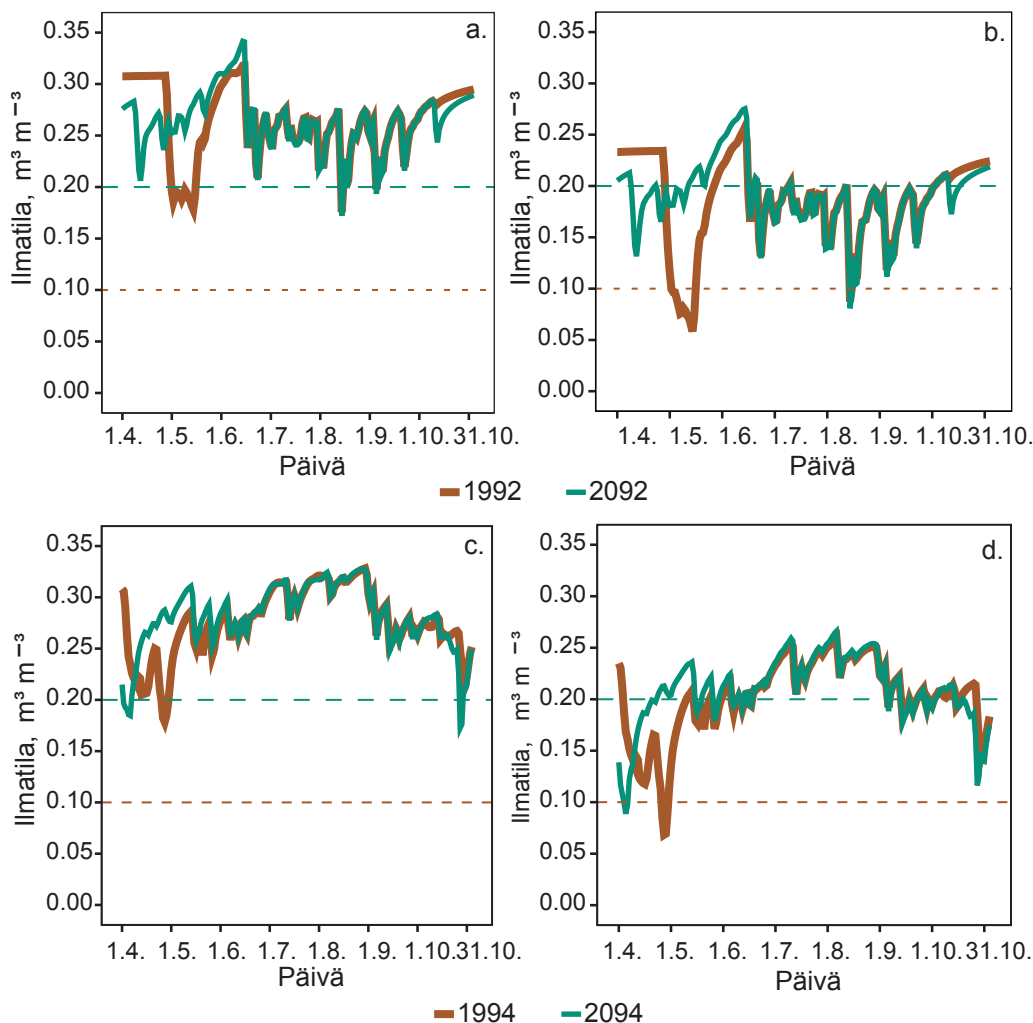
Ilmatila oli keskimäärin $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ mäntyvaltaisella ja $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ kuusivaltaisella koekentällä kasvukaudella 1992. Maa oli siis mäntyvaltaisella koekentällä keskimäärin hieman kenttäkapasiteetin vesipitoisuutta kosteampaa ja kuusivaltaisella puolestaan sitä kuivempaa. Kuivana kasvukautena 1994 kuusivaltaisen koekentän maan ilmatila oli keskimäärin 19 päivää alle $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, kun taas mäntyvaltaisen koekentän maan ilmatila oli suotuisa juurten kasvulle koko kasvukauden ajan. Edellä esitetyt tulokset ovat keskiarvoja. Kuusivaltaisen koekentän kosteimmissa maaprofiilissa ilmatila oli 124 päivää eli 89 % kasvukaudesta alle $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ kesällä 1992 ja 37 päivää eli 34 % kasvukaudesta kesällä 1994.

Ilmastonmuutos tulee toteutuessaan vaikuttamaan niin kasvukauden alkamispäivämäärään kuin sen päättymisajankohtaankin. Ilmastonmuutoksen seurauksena sääoloiltaan vastaava, mutta skenaarioiden perusteella ”korjattu” kasvukausi 2092 alkaisi vajaat kolme viikkoa aikaisemmin ja loppuisi noin viikkoa nykyistä myöhemmin kuin kasvukausi 1992 (taulukko 2). Kasvukauden pituus pitenisi 140:stä 165:een. Kasvukautta 1994 vastaavana kasvukautena 2094 muutos olisi vieläkin suurempi. Kasvukausi alkaisi tällöin lähes kaksi kuukautta aikaisemmin ja päättyisikin syksyllä noin kaksi viikkoa myöhemmin. Kasvukauden pituus olisi 104 päivän sijasta peräti 182 päivää. Kasvukauden pidentyminen heijastuu myös lämpö- ja sadesummiin. Lämpösummat nousisivat lähelle nykyilmaston Etelä-Suomen tasoa (Lapin ilmastonmuutoskuvaus... 2010).

Ilmastonmuutoksen vaikutus maan ilmatilaan oli kaksijakoinen. Toisaalta keväällä havaittava lumen sulamisen aiheuttama ns. sulamisvesipiikki ja siitä aiheutuva nopea ilmatilan lasku on mallin mukaan tulevaisuudessa heikompi ja ajoittuu aikaisemmaksi kuin nykyään (kuva 7, taulukko 2). Talven aikana yhä suurempi osa sateesta tulee ilmastonmuutoksen seurauksena vetenä, ja lunta sataa ja lumikerros myös saattaa sulaa useaan kertaan (Lapin ilmastonmuutoskuvaus... 2010). Toisaalta taas tämän tutkimuksen tulosten mukaan kesällä ilmastonmuutos ei vaikuta maan vesipitoisuuteen ja ilmatilaan juuri lainkaan. Ilmatilakäyrät olivat käytännössä yhdenmukaiset 1992/2092-malleissa kesäkuun alkupuolelta ja 1994/2094-malleissa toukokuun puolivälistä lähtien aina syksyyn saakka (kuva 7). Sama ilmiö havaittiin muidenkin koekenttien maaprofiileissa ja muinakin kasvukausina.

Vaikka kasvukaudet pitenivätkin ilmastonmuutoksen seurauksena huomattavasti, ei maan ilmatilan keskimääräisissä arvoissa havaittu tapahtuvan kovin suuria muutoksia. Suurin muutos havaittiin kuusivaltaisen koekentän 2 maaprofiileissa, joissa kasvukauden keskimääräinen ilmatila on mallin mukaan $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pienempi vuonna 2094 kuin vuonna 1994 (taulukko 2). Kuusivaltaisen koekentän 2 maassa ilmatilaltaan alle $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ päivien osuus kasvukaudella pienee suhteellisesti hieman vuonna 2092, mutta kasvaa ajallisesti vuoden 1992 lukuihin verrattuna. Vuoden 2094 kohdalla muutos on suurempi. Ilmatilaltaan alle $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ päivien määrä kasvaa 40 päivällä, mikä merkitsee niiden suhteellisen osuuden kaksinkertaistumista (taulukko 2). Mäntyvaltaisen koekentän 8 maaprofiileissa muutokset olivat samansuuntaisia, mutta pienempiä kuin edellä esitetyissä tuloksissa.

Kummankaan koekentän maassa ei niin maastossa mitatuissa (kuva 5), mallitetuissa nykyilmaston (kuva 6) eikä mallitetuissa muuttuneen ilmaston tuloksissa (kuva 7) ilmatila noussut kasvien kannalta liian suureksi eli ylittänyt lakastumispisteen n. $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ tasoa nyt tarkasteltuina vuosina. Mallitettuja tuloksia arvioitaessa on kuitenkin muistettava, että malleissa ei ollut puustoa mukana. Latvuspidäntä ja puiden haihdunta saattavat vaikuttaa myös vertailuihin maan ilmatiloissa nykyilmaston ja tulevaisuuden mahdollisesti muuttuneen ilmaston välillä (Gärdenäs ja Jansson 1995, Kellomäki ja Väisänen 1996).



Kuva 7. Sodankylän observatorion säätietojen pohjalta CoupModel-mallilla (Jansson ja Karlberg 2007) lasketut kivennäismaan pintakerroksen ilmatilat vuosina 1992 ja 2092 sekä 1994 ja 2094 mäntyvaltaisen koekentän 8 (a, c) ja kuusivaltaisen koekentän 2 (b, d) maaprofiileissa 1.4.–31.10. välisenä aikana.

4 Johtopäätökset

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että Lapin kuivahkojen ja tuoreiden kankaiden kasvupaikoilla juurikerroksen maan ilmatila vaikuttaa istutettujen männyntaimien keskipituuteen. Mitä suurempi oli ilmatila kenttäkapasiteetin vesipitoisuudessa tai kasvupaikan keskimääräinen ilmatila maastossa, sitä suurempi oli taimien keskipituus.

Luontaisesti mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla ei maan ilmatilalla ole tämän tutkimuksen perusteella vaikutusta keskipituuteen. Maan ilmatila on näillä kasvupaikoilla suotuisa sateisinakin kasvukausina alhaisen vedenpidätyskyvyn ansiosta. Mallitarkastelu viittaa siihen, että nyt tarkastelluilla mäntyvaltaisten kasvupaikkojen keskikarkeilla moreeneilla ei maan vesipitoisuus laske haitallisen alhaiseksi kuivinakaan kasvukausina.

Luontaisesti kuusivaltaisilla kasvupaikoilla istutettujen männyntaimien keskipituus riippuu tämän tutkimuksen mukaan kasvupaikan maan ilmatilasta. Sateisina kasvukausina ilmatila voi kosteimmilla paikoilla olla lähes koko ajan juurten kasvulle suotuisaa ilmatilaa alhaisempi ja se voi

ajoittain painua tasolle, jossa juurten kasvu estyy kokonaan. Voimakkaasta maankäsittelystäkin ei tällaisilla kohteilla ole pitkäaikaista hyötyä, sillä taimien juuret kasvavat jo varhain koskemattomaan maahan kohoumien ulkopuolelle.

Ilmastonmuutos vaikuttaisi tämän tutkimuksen mukaan pintamaan ilmatilaan erityisesti nykyilmastoon verrattuna pidemmän kasvukauden alussa. Lumen sulamisesta johtuva sulamisvesipiikki ja sitä seuraava ilmatilan voimakas lasku pienenisivät ja ajoittuisivat nykyistä aikaisemmaksi. Sen sijaan tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että avohakkuun jälkeisissä olosuhteissa ilmastonmuutos ei juurikaan vaikuttaisi maan ilmatilaan myöhemmin kasvukauden aikana. Myös keskimääräiset arvot pysyisivät lähes ennallaan. Tuloksia arvioitaessa on kuitenkin otettava huomioon, että malleista puuttui puusto eikä haihduntaan vaikuttavaa ilmankosteutta tässä tutkimuksessa pystytty säätämään.

Tulevissa ilmastonmuutoksen vaikutuksia selvittelevissä tutkimuksissa olisi huomattavasti aiempaa tarkemmin otettava huomioon maan fysikaaliset ominaisuudet. Tässä tutkimuksessa kaksi maalajiltaan hienoa hiekkamoreenia olevaa kasvupaikkaa poikkesivat toisistaan selvästi, kun tarkasteltiin niiden vesitaloutta erilaisina kasvukausina. Tarvitaan lisää tutkimusta eri maalajien esiintymisestä, sisäisestä vaihtelusta ja niiden vesitaloudesta, ennen kuin ilmastonmuutoksen vaikutuksia puiden kasvuolosuhteisiin ja puulajisuhteisiin pystytään luotettavasti ennustamaan.

Kirjallisuus

- Gärdenäs, A. I. & Jansson, P.-E. 1995. Simulated water balance of Scots pine stands in Sweden for different climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 166: 107–125.
- Heiskanen, J. 1993. Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 337–358.
- & Mäkitalo, K. 2002. Soil water-retention characteristics of Scots pine and Norway spruce forest sites in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management* 162(2-3): 137-152.
- 2003. Maaperän fysikaaliset ominaisuudet. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). *Metsämaa ja sen hoito*. Metsätutkimuslaitos & Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 39-62.
- , Mäkitalo, K. & Hyvönen, J. 2007. Long-term influence of site preparation on water-retention characteristics of forest soil in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management* 241: 27–133.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. *ACCLIM-hankkeen raportti 2009*. Ilmatieteen laitos. Raportteja 2009:4. 102 s.
- Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1996. Model computations on the effect of rising temperature on soil moisture and water availability in forest ecosystems dominated by Scots pine in the boreal zone in Finland. *Climatic Change* 32: 423–445.
- , Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K. T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2008) 363: 2341–2351.
- Lapin ilmastonmuutoskuvaus. Ilmastoennuste eri säätekijöistä vuoteen 2099 asti eri päästöskenaarioilla. 2010. Ilmatieteen laitos.
http://www.lapinliitto.fi/c/document_library/get_file?folderId=250745&name=DLFE-15511.pdf
- Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 94(5). 59 s.
- , Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98(7). 43 s.
- Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. *Silva Fennica* 24(3): 279–301.

- Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(6): 512-525.
- 2005. Modelling soil moisture and temperature on a forest regeneration area - calibration of the COUP model. An individual project 30.11.2005. Course on modelling water, energy and mass transport in agricultural and forest ecosystems, Uppsala 16-27 August 2004. Focus on Soils, Swedish University of Agricultural Sciences. 24 s.
- 2009a. Soil hydrological properties and conditions, site preparation, and the long-term performance of planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on upland forest sites in Finnish Lapland. *Dissertationes Forestales* 80. 71 s.
- 2009b. Voidsuhteiden mittaaminen mittaamalla tunnistaa männynviljelylle sopivat kasvupaikat? *Taimiutiset* 4: 4-8.
- & Hyvönen, J. 2004. Late-summer soil water content on clear-cut reforestation areas two decades after site preparation in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management* 189: 57-75.
- , Heiskanen, J. & Hallikainen, V. 2006. Long-term effect of ploughing on soil hydrology in northern Finland. In: Amatya, D.M. & Nettles, J. (eds.). *Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA.* p. 284-291.
- & Heiskanen, J. 2010. Climate change and variation of air-filled porosity in boreal forest soils: A model approach. In: Parrotta, J. & Carr, M.A. (eds.). *Forests for the Future: Sustaining Society and the Environment. XXIII IUFRO World Congress, 23-28 August 2010, Seoul, Republic of Korea. Abstracts. International Forestry Review* 12(5): 20.
- , Alenius, V., Heiskanen, J. & Mikkola, K. 2010. Effect of soil physical properties on the long-term performance of planted Scots pine in Finnish Lapland. *Canadian Journal of Soil Science* 90(3): 451-465.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(4). 98 s.
- Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(7). 36 s.
- & Ojanperä, V. 1984. Properties and formation of cemented orstein horizons in Rovaniemi, northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 124.
- Rusanen, M. 1986. Männyn eri taimilajien juuristojen suuntautuminen aurasalueella. *Laudaturtyö*, Helsingin yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos.
- Sepponen, P., Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. *Folia Forestalia* 402. 31 s.
- Sutinen, R., Teirilä, A., Pänttjä, M. & Sutinen M.-L. 2002a. Distribution and diversity of tree species with respect to soil electrical characteristics in Finnish Lapland. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1158–1170.
- , Teirilä, A., Pänttjä, M., & Sutinen M.-L. 2002b. Survival of artificially regenerated Scots pine on till soils with respect to varying dielectric properties. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1151–1157.
- Tomppo, E., Tuomainen, T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Korhonen, K. T., Mäkelä, H. & Tonteri, T. 2005. Lapin metsäkeskuksen alueen metsävarat 1970–2003. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2005: 199–287.
- Topp, G. C., Davis, J. L. & Annan, A. P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16: 574–582.
- Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytyminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*. 46: 307–319.
- Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892–898.
- , Leij, F. J. & Yates, S. R. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. Version 1.0. U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California. EPA Report 600/2–91/065.

- Wall, A. & Heiskanen, J. 2003. Effect of air-filled porosity and organic matter concentration of soil on growth of *Picea abies* seedlings after transplanting. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 344–350.
- Zou, C., Penfold, C., Sands, R., Misra, R. K. & Hudson, I. 2001. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiate pine seedlings. *Plant and Soil* 236: 105–115.

Kuusen levinneisyys Lapissa

Marja-Liisa Sutinen, Paavo Närhi, Maarit Middleton, Kari Mikkola, Matti Piekkari, Pekka Hänninen, Mauri Timonen ja Raimo Sutinen

Johdanto

Kuusen (*Picea abies*) levinneisyys Lapissa seuraa kallioperää ja sitä kautta kasvupaikkojen (75–80 % moreeneita) ravinteikkuutta. Kuusi esiintyy emäksisillä kallioperäalueilla, erityisesti Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeessä, joissa moreenien kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet ovat korkeita suhteessa alumiiniin. Kuusi puuttuu happamilta Lapin granuliittikaareltä ja Hetan graniiteilta. Näissä alumiinin ylimäärä emäskationeihin nähden on kuusen kannalta haitallinen. Itse asiassa kuusen metsänraja granuliittikaaren eteläreunassa on litologinen/edafinen, ei topoklimaatinen (Sutinen ym. 2005).

Kuusen Holoseenin aikainen leviäminen Lapissa on paradoksi. Nykykäsityksen mukaan, perustuen siitepölykronologioihin, kuusi levisi Lappiin 3500–3000 vuotta sitten. Samaan aikaan kun esim. männyn (*Pinus sylvestris*) puuraja Suomessa ja kuusen puuraja Venäjän puolella taantuivat merkittävästi (MacDonald ym. 2000). Mielenkiintoista on, että kuusen makrofossiileja ei meillä ole löydetty nykyisen kuusenrajan pohjoispuolelta, vaikka kuusen makrofossiilit ovat pohjoisimpina Fennoskandian kilven itäpuolella (MacDonald ym. 2000). Esim. Käsivarren aikasarjoissa koivun runkoja löytyy 8810 vuoden ja männyn runkoja 6000–4400 vuoden takaa, mutta kuusen makrofossiilit puuttuvat (Sutinen ym. 2007). Globaalimuutoksen seurauksena kuusen polaariset (MacDonald ym. 2000, Wilmking ym. 2012) ja alpiiniset (Harsch ja Bader 2011) puurajat ovat siirtyneet, silti kuusen puurajan säätelyyn vaikuttavia tekijöitä ei tunneta riittävästi. Vaikka lämpötilaa on perinteisesti pidetty yhtenä tärkeimmistä tekijöistä alpiinisten puurajojen säätelyssä (Körner ja Paulsen 2004) ja kuusen esiintymiseen on esitetty vaikuttavan myös ilmaston märeisyyden ja merellisyyden erot (ks. Oksanen 1995), voivat maaperätekijät paikallisesti muodostua rajoittaviksi kuusen kannalta.

Aineisto ja menetelmät

Selvitimme kuusen levinneisyyden ja litologian/ravinteisuuden (erityisesti Ca:Al suhdetta) välistä suhdetta Lapissa. Vertikaaligradienit (kuusen alpiininen puuraja) testattiin ns. soil vertical zonality hypoteesia, jonka mukaisesti ravinteiden määrä vähenee korkeuden lisääntyessä. Korkeusgradientteina käytimme luonnontilaisia Keimiötunturia (300–612 m mpy; Sutinen ym. 2011), Lommoltunturia (380–557 m mpy; Middleton ym. 2008, Sutinen ym. 2012) sekä häiriintynyttä, 1960 palanutta ja muokattua, Iso Rakitsaista Tuntsalla (385–420 m mpy; Närhi ym. 2012). Maan vesipitoisuuden ja lämpötilan seuranta toteutettiin kuusimetsässä (375 m mpy) ja kuusen puurajalla Mustavaarassa/Sammaltunturilla (470 m mpy; Sutinen 2011). Lommoltunturin gradientteilla lumen paksuus mitattiin 1 GHz:n tutkalla ja kuusimetsikön ikärakenne selvitettiin lusto-näyttein (Sutinen ym. 2012).

Pintamaan (0–30 cm) sähkönjohtavuus (EC) mitattiin johtavuustalvikolla (malli Puranen; Sutinen ym. 2011). EC kuvaa kasvupaikan ravinnepotentiaalia korreloiden positiivisesti maan Mg:n ja Ca:n kanssa, mutta negatiivisesti Al:n kanssa (Sutinen ym. 2011). Maan vesipitoisuus mitattiin dielektrisesti gradientteittain (joko kapasitiivinen Percometer, ADEK, Tallinn E, tai TDR Tektronix 1502B, Beaverton OR USA) ja monitoroiden (CS615 anturein ja CR10X loggerein, Campbell Scientific, Logan UT USA). Maan EC:n ja vesipitoisuuden avulla johdettiin huokosvesijohtavuus

ECw (Sutinen ym. 2011). Maan lämpötila mitattiin gradienteittain (Prima long, Amarell, Kurzwertheim DE) sekä monitoroiden (T-107 Campbell Scientific) kuusimetsässä ja kuusen puurajalla. Maan pH määritettiin gradienteittain maastossa IQ160:lla (IQ Scientific Instruments, Carlsbad CA) käyttäen 1:1 maa/deionisoitu vesipastaa. Elementtien pitoisuudet määritettiin laboratoriossa ICP-AES:llä (Thermo Electron iCap 6500 Duo ICP, Thermo Fisher, Cambridge UK) käyttäen 1 M ammoniumasetattiuttoa pH 4,5:ssä. Hiili- ja typpi-konsentraatiot määritettiin kuivapainopohjalta käyttäen Vario Max CN analyzer laitetta (Elementar Analysensysteme, Hanau DE).

Tulokset ja tarkastelu

Kuusi muodostaa alpiinisen puurajan vain Lapin emäksisillä tuntureilla, joilla tyypillisesti maan huokosveden johtavuus ($EC_w=11,9 \text{ mSm}^{-1}$) on merkittävästi suurempi kuin happamilla tuntureilla ($EC_w=3,7 \text{ mSm}^{-1}$; Sutinen ym. 2011). Lommoltunturilla kuusimetsä ulottuu 475 m:iin (latvuspeittävyys $\geq 12 \%$), ja avoin tundra alkaa 505 m:stä (latvuspeittävyys $\leq 7 \%$; Sutinen ym. 2012). Näiden väliin jää kuusen diffuusi puuraja, jolle tyypillistä on kuusiyksilöiden välisten etäisyyksien kasvu ja runkojen piteuden väheneminen (ks. Harsch ja Bader 2011). Tulokset osoittivat, että maaperän N_{TOT} , C_{TOT} ja Al:n pitoisuudet kasvavat, kun taas Ca:n, Mg:n pitoisuudet, Ca:Al-suhde sekä EC pienenevät korkeuden kasvaessa. Maan pH eikä P muuttunut korkeuden suhteen. Tutkaintausten perusteella lumen paksuus metsässä ($90\pm 9 \text{ cm}$) oli selkeästi suurempi kuin puurajalla ($72\pm 22 \text{ cm}$) ja avoimella tundralla ($58\pm 48 \text{ cm}$). Näin ollen maaperän vertikaalinen vyöhykkeisyys ja talvinen tuuli-ilmasto ovat kuusen puurajan kannalta merkittävimmät tekijät. Lommoltunturille kuusi vakiintui 1840- ja 1860-luvuilla tasolle 418 m mpy, jossa Ca:Al suhde oli gradientin suurin (2,2). Merkkejä makrofossiileista tai paloista ei löydetty, jotka piirteet viittaavat siihen, että Lommoltunturin kuusikko (alle 165-vuotias) on ensimmäinen Holoseenin aikana. Merkittävä sykli tapahtui 1920-luvulta alkaen niin, että 60 vuoden aikana kuusen diffuusi puuraja siirtyi 55 metriä ylöspäin. Muutos on nähtävissä selkeästi myös ilmakuvioiden (1947 vs. 2003) objektiperusteisessa muutosanalyysissä siten, että 56 vuodessa kuusi on edennyt noin 100 m Lommoltunturilla (Middleton ym. 2008). Samoin kuin Lommoltunturilla kuusen (var. *obovata*) polaarisella puurajalla Uralin länsipuolella pääasiainen kuusen vakiintuminen tapahtui 1850–1880-luvuilla (Wilmking ym. 2012). Nämä piirteet voivat ilmentää Pohjois-Atlantin termohaaliinikierron syklistä.

Lommoltunturilla ja Mustavaarassa/Sammaltunturissa kasvukauden maalämpötilat (kynnysarvona $+3,2 \text{ }^\circ\text{C}$, Körner ja Paulsen 2004) olivat vuonna 2008 $9,2 \text{ }^\circ\text{C}$ tundralla ja $8,9 \text{ }^\circ\text{C}$ kuusimetsässä (Sutinen ym. 2012) sekä vuosina 2001 ja 2002 $11,4 \text{ }^\circ\text{C}$ tundralla, $10,6\text{--}10,8 \text{ }^\circ\text{C}$ kuusen puurajalla ja $11,1\text{--}11,3 \text{ }^\circ\text{C}$ kuusimetsässä (Sutinen ym. 2011). Keimiötunturilla keskikesän maalämpötila oli etelärinteellä hieman korkeampi kuin pohjoisrinteellä, kuitenkin niin, että maalämpötila kasvoi korkeuden kasvaessa ja oli korkeimmillaan avoimella tundralla (Sutinen ym. 2011). Tulokset osoittavat, että kasvukauden lämpötila ja pituus vaihtelevat vuosittain, eikä Körnerin ja Paulsenin (2004) esittämä puurajaa säätelevä kasvukauden lämpötila $6\text{--}7 \text{ }^\circ\text{C}$ sovellu kuusen puurajalle Länsi-Lapin emäksisillä tuntureilla.

Tuntsalla vuoden 1960 palo sekä sen jälkeinen nokisavotta ja rinteensuuntainen lautasauraus muuttivat talvisia tuulioloja ja saivat aikaan ravinteiden huuhtoutumisen (Vajda ym. 2006, Närhi ym. 2012). Tulokset osoittivat, että kaikilla korkeustasoilla (358, 400 ja 420 m mpy) aurauksessa EC, Ca:Al, Ca ja Mg olivat pienemmät kuin auraamattomalla rinteellä siten, että 46:n vuoden jälkeen muutos oli merkittävä: Ca (-40%), Mg (-51%), Ca:Al suhde (-57%) ja EC (-53%) (Närhi ym. 2012). Vaikka Tuntsalle jäi kuusikko-palorefugioita, kuusen luontainen uudistuminen ei ole onnistunut käsitellyille tunturirinteille. Täytyy muistaa, että Iso Rakitsainen Tuntsalla ennen 1960 paloa oli lähes lakiosiaan myöten kuusen peittämä. Samoin kuin Tuntsalla Pomokairan kaistale-

avohakatuille ja kuusimetsän ympäröimille kuvioille kuusen luontaisessa uudistumisessa on selkeää mikropaikkariippuvuutta. Aurasjälkeen taimia ei ollut juurikaan syntynyt (6 % taimista; $ECw=2,2\pm 2,9 \text{ mSm}^{-1}$), palteessa niitä oli jonkin verran (34 %; $ECw=10,7\pm 9,2 \text{ mSm}^{-1}$) ja valtaosa taimista oli auraamattomalla alalla (60 %; $11,7\pm 9,1 \text{ mSm}^{-1}$) 16–18 vuotta muokkauksen jälkeen (Sutinen ym. 2010). Tulokset Tuntsalta ja Pomokairasta viittaavat siihen, että muokkaus aiheuttaa ravinnehuuhtouman, joka on omiaan vaikeuttamaan kuusen luontaista uudistumista.

Lapissa varsinainen kuusen polaarinen puuraja on mahdollinen ainoastaan granuliittikaaren länsipuolella emäksisen Tanabeltin ulottuessa Inarijoen ja Tenon laaksoon (ks. Sutinen ym. 2005). Kuitenkin maasto kohoaa pohjoiseen mentäessä niin, että esim. Karvaselät, Kollumit ja Kietsimävaarat ovat jo tunturimaisia, jolloin käsitteenä polaarisuus-alpiinisuus on häilyvä. Sen sijaan kuusen metsänraja granuliittikaaren eteläreunassa on selkeä osoitus maaperän ravinnetekijöiden (Ca:Al suhde) määräävästä roolista kuusen esiintymisessä (Sutinen ym. 2005). Terävarajainen kuusen metsänraja esim. Vuomaselässä 4-tien varressa ei tue usein esitettyä mantereisuus-mereisyys hypoteesia kuusen esiintymisessä (ks. Oksanen 1995). Toinen hyvä esimerkki litologian/ravinnepotentiaalilin roolin korostumisesta on Koitelaisen gabro (emäksinen) ja Pomovaaran graniitti (hapan) Keski-Lapissa. Kuusi on vallitseva Koitelaisen päällä 407 m:ssä mpy, mänty sen sijaan Pomovaaran päällä 424 m:ssä mpy. Koitelaisen ja Pomovaaran välinen etäisyys on vain reilut 30 km, joten ilmastolliset olosuhteet lämpösumman, sadannan ja lumisuuden suhteen ovat samantyyppiset.

Gradientti nykyisen kuusen metsänrajan poikki Ivalo-Sodankylä välillä osoitti, että maaperän kalsiumin vaikutus on ratkaiseva paitsi kuusen myös kasvilajiston koostumuksen ja diversiteetin kannalta (Närhi ym. 2011). Lajiston määrä oli runsaimmillaan kasvupaikoilla, joissa $Ca > 100 \text{ mg kg}^{-1}$ (Närhi ym. 2011). Myös sporadiset kuusiesiintymät metsänrajan pohjoispuolella Lapissa (Oksanen 1995) liittyvät suurelta osin litologisiin/edafisiin tekijöihin. Esim. Palloaivin appiniittista peräisin oleva moreeni Muddusjärven länsipuolella on rikas kalsiumin ja fosforin suhteen – siten Oksanen (1995) kuvaamat kuusiesiintymät todennäköisimmin liittyvät juuri Palloaivin appiniittiin. Sen sijaan Ivalon kuusiesiintymät eivät ole suoranaisesti litologisia, vaan Ivalojoen laakson siltiset pintasedimentit muodostavat kasvualustan kuuselle. Sarmitunturilla puolestaan



Kuva 1. Kuusen diffuusi puuraja Sarmitunturin etelärinteellä. Kuva R. Sutinen 2002.

kuusen esiintyminen on litologinen, dioriitti on tuottanut Sarmin eteläreunan moreeniin kuuselle riittävät fosforin ja kalsiumin reservit (kuva 1).

Sekä Holoseenin aikaiset kuusen leviämismallit että tulevaisuuden kuusen metsänrajan ja puurajan muutosskenaariot on paljolti tehty ilman litologis-edafista komponenttia. Tästä syystä tulemme laatimaan kuusen skenaariomallit, joissa otetaan huomioon DEMin, kuviotietojen ja ilmastosarjojen lisäksi myös sekä litologia, geokemia että radiometrinen lentoaineisto. Mallit tulevat perustumaan Maanmittauslaitoksen, Metsähallituksen, Metsäntutkimuslaitoksen, Ilmatieteen laitoksen ja Geologian tutkimuskeskuksen aineistoihin Lapista. Mallinnuksessa tulemme testaamaan kuusiesiintymien alpiinisen täyttymisen (Middleton ym. 2008) lisäksi ns. väylähypoteesia, jonka mukaisesti kuusen polaarinen leviäminen Lapissa voi tapahtua Tanabeltin kautta.

Kirjallisuus

- Harsch, M.A. & Bader, M.Y. 2011. Treeline form – a potential key to understanding treeline dynamics. *Global Ecology and Biogeography* 20: 582–596.
- Körner, C. & Paulsen, J. 2004. A world-wide study of high elevation treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31: 713–732.
- MacDonald, G.M., Velichko, A.A., Kremenetski, C.V., Borisova, O.K., Goleva, A.A., Andreev, A.A., Cwynar, L.C., Riding, R.T., Forman, S.L., Edwards, T.W.D., Aravena, R., Hammarlund, D., Szeicz, V.N. & Gattaulin, V.N. 2000. Holocene treeline history and climatic change across northern Eurasia. *Quaternary Research* 53: 302–311.
- Middleton, M., Närhi, P., Sutinen, M.-L. & Sutinen, R. 2008. Object based change detection of historical aerial photographs reveals altitudinal forest expansion [Electronic resource]. In: GEOBIA 2008 - Pixels, objects, intelligence : GEOgraphic Object Based Image Analysis for the 21st century, Calgary, Alberta, Canada, August 05–08, 2008. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII-4/C1. Calgary: University of Calgary. 6 p. Electronic publication.
- Närhi, P., Middleton, M., Gustavsson, N., Hyvönen, E., Sutinen, M.-L. & Sutinen, R. 2011. Importance of soil calcium for composition of understory vegetation in boreal forests Finnish Lapland. *Biogeochemistry* 102: 239–249.
- , Gustavsson, N., Sutinen, M.-L., Mikkola, K. & Sutinen R. 2012. Long-term effect of site preparation on soil quality in Tuntsa, Finnish Lapland. *Geoderma*, In Print.
- Oksanen, L. 1995. Isolated occurrences of spruce, *Picea abies*, in northernmost Fennoscandia in relation to the enigma of continental mountain birch forests, *Acta Bot. Fennica*, 81-92.
- Sutinen, R., Hyvönen, E., Ruther, A., Ahl, A. & Sutinen, M.-L. 2005. Soil-driven forest line of spruce (*Picea abies*) in Tanaelv Belt-Lapland Granulite transition, Finland. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 37: 611–619.
- , Aro, I., Herva, H., Murinen, T., Piekkari, M. & Timonen, M. 2007. Macrofossil evidence dispute ubiquitous birch-pine-spruce succession in western Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 46: 93–98.
- , Närhi, P., Herva, H., Piekkari, M. & Sutinen, M.-L. 2010. Impact of intensive forest management on soil quality and natural regeneration of Norway spruce. *Plant and Soil* 336: 421–431.
- , Kuoppamaa, M., Hänninen, P., Middleton, M., Närhi, P., Vartiainen, S. & Sutinen, M.-L. 2011. Tree species distribution on mafic and felsic fells in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26: 11–20.
- , Närhi, P., Middleton, M., Hänninen, P., Timonen, M. & Sutinen, M.-L. 2012. Advance of Norway spruce (*Picea abies*) onto mafic Lommoltunturi fell in Finnish Lapland during the last 200 years. *Boreas* 41: 367–378.
- Vajda, A., Venäläinen, A., Hänninen, P. & Sutinen, R. 2006. Effect of vegetation on snow cover at the northern forest line: A case study in Finnish Lapland. *Silva Fennica* 40: 195–207.

Wilmking, M., Sanders, T.G.M., Zhang, Y., Kenter, S., Holzkämper, S. & Crittenden, P.D. 2012. Effects of climate, site conditions, and seed quality on recent treeline dynamics in NW Russia: Permafrost and lack of reproductive success hamper treeline advance? *Ecosystems*, DOI: 10.1007/s10021-012-9565-8.

Metsien uudistaminen Lapin suojametsäalueella ja Pohjois-Suomen korkeilla mailla

Mikko Hyppönen, Risto Jalkanen, Kari Mikkola ja Martti Varmola

1 Johdanto

Valtioneuvosto on metsälain säädösten perusteella määrännyt pohjoisimman Lapin suojametsäalueeksi, jossa metsiä tulee metsänrajan alenemisen ehkäisemiseksi hoitaa ja käyttää erityistä varovaisuutta noudattaen (Metsälaki 1996, Valtioneuvoston... 1998). *Suojametsäalueen* muodostavat Enontekiön ja Utsjoen kunnat kokonaisuudessaan sekä maanmittaustoimituksessa maastoon merkityt alueet Inarin, Kittilän, Kolarin, Muonion, Sallan, Savukosken ja Sodankylän kunnista. Alueen kokonaispinta-ala on 3,3 miljoonaa hehtaaria, josta 91 % on valtion omistuksessa. Metsätaloutta harjoitetaan noin 0,4 miljoonalla hehtaarilla alueen pinta-alasta (Suoheimo 1998, Hyppönen ym. 2003).

Suojametsäalueella puuston hakkuu muuksi kuin kotitarpeeksi on sallittu vain metsäkeskuksen hyväksymän hakkuu- ja uudistamissuunnitelman mukaisesti. Metsän uudistaminen voi perustua luontaiseen uudistamiseen, kylvöön, istutukseen tai niiden yhdistelmään. Tavoitteena on käyttää luontaista uudistamista aina, kun se on mahdollista. Keinollisessa uudistamisessa laajoja yhtenäisiä uudistusalueita tulee välttää.

Pohjois-Suomen korkeisiin alueisiin luettavien metsien metsämaan pinta-ala on noin 0,5 miljoonaa hehtaaria (Kubin ym. 2001). Niiden alaraja nousee Perämeren rannikolta sisämaahan ja etelästä pohjoiseen. Korkeiden alueiden uudistamisongelmat alkavat Pohjois-Pohjanmaalla jo alle 200 metrin korkeudessa merenpinnasta. Kainuussa raja on keskimäärin 250 m ja Lapissa 200–280 m (Hyvän... 2006).

Metsäntutkimuslaitoksen viranomaistehtävänä on seurata suojametsäalueen ja Pohjois-Suomen korkeiden alueiden metsien uudistumisen onnistumista ja laatia asiasta selvitys maa- ja metsätalousministeriölle ja metsäkeskukselle kymmenen vuoden välein.



Kuva 1. Märkyden aiheuttamalta metsänrajalta harvapuustoisella rämeellä kuusi etenee kangasmaan kuusikoiden kautta kohti paljakkaa Yllästunturissa. Kuva: R. Jalkanen.

Ensimmäisen vuonna 2001 tehdyn selvityksen mukaan suojametsäalueen metsien dynamiikkaa kontrolloivat sekä uudistumisen edellytyksiin ja kasvuun vaikuttavat kesän olosuhteet että taimikuolleisuutta säätelevät talviset ja keväiset olosuhteet (Hyppönen ym. 2003, Varmola ym. 2004). Kuusi näytti 1900-luvun lopun suotuisan ilmastojakson aikana uudistuvan hyvin metsänrajalla, ja metsänraja näytti siirtyvän tunturien rinteillä ylemmäksi (kuva 1). Männyllä vastaavaa kehitystä ei havaittu (Juntunen ym. 2002). Männyin luontainen uudistaminen oli kuitenkin onnistunut suojametsäalueella kohtuullisesti. Maanmuokkaus paransi uudistamistulosta (Hyppönen 2002).

Suojametsäalueella metsien uudistuminen riippui etenkin alueen ilmaston vaihtelusta, mutta myös ihmisen toiminnasta. Uudistamistulosten perusteella suuria muutoksia ei näyttänyt olevan odotettavissa, jollei ilmasto äkillisesti muutu. Havupuutaimikoissa ei havaittu vastaavia luonnontuhoja kuin tunturikoivikoissa 1960-luvulla.

Korkeilla alueilla uudistumisen epävarmuus näytti lisääntyvän maaston korkeuden lisääntyessä (Kubin ym. 2001, Kubin ym. 2002). Luontaisen uudistamisen katsottiin olevan sopivilla kasvupaikoilla ensisijainen uudistamistapa kustannusten pitämiseksi kohtuullisina. Luontaisen uudistamisen haittapuoliksi todettiin hyvien siemenvuosien vähäisyys ja pitkä uudistumisaika. Riittävän viljavilla mailla korkeiden maiden metsät tulisi uudistaa kuuselle, koska kuusi kestää mäntyä paremmin korkeudesta aiheutuvia ankaria ilmasto-olosuhteita.

Tässä kirjoituksessa esitellään yhteenveto metsätaloudellisesta toiminnasta suojametsäalueella 2000-luvulla, ilmastotrendejä ja niiden arvioituja vaikutuksia metsien uudistumiseen, tuloksia metsän uudistamisesta sekä suojametsäalueen ja korkeiden alueiden metsätuhoja.

2 Metsätaloustoiminta suojametsäalueella 2000-luvulla

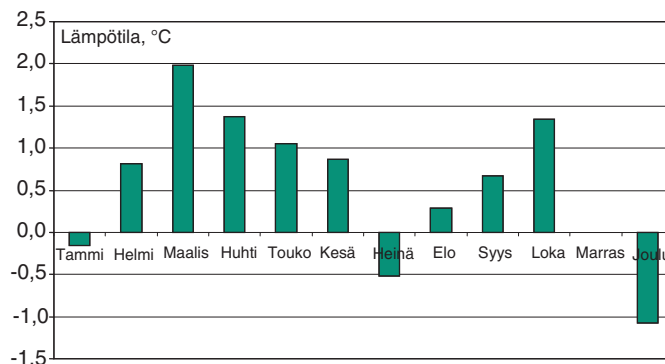
Suojametsäalueelle ja korkeille alueille on laadittu omia metsien hoito- ja käsittelyohjeita. Varhaisimpia näistä ovat 1950-luvun lopulla laadittu ”Lapin suojametsien käsittelyohjeet” (Oinonen ym. 1958). Johtavana periaatteena on aina ollut varovaisuus metsän uudistamisessa. Sama periaate on kirjattu myös uudempiin suosituksiin (Hokajärvi 1997, Hyppönen ym. 2001, Hyvän... 2006, Keskimölo ym. 2007).

Vuosina 2001–2010 suojametsäalueen metsien hakkuupinta-ala oli Lapin metsäkeskuksen tilastojen mukaan keskimäärin 4700 ha ja hakkuumäärä noin 187 000 m³ vuodessa (Lapin metsäkeskus 2001–2010). Uudistushakkuiden osuus pinta-alasta oli keskimäärin 40 %. Valtion metsien osuus hakkuupinta-alasta ja -määrästä oli noin 60 %. Metsien hakkuupinta-alat ja hakkuumäärät vähenivät 1990-luvulta 2000-luvun alkuun noin 10 %.

Korkeiden alueiden metsien hakkuista ja metsänhoitotöistä ei ole erillisiä tilastoja. Metsiä kuitenkin hakataan ja hoidetaan muiden talousmetsien tapaan erityisolosuhteet huomioon ottaen.

3 Ilmastotrendit ja niiden vaikutus metsien uudistumiseen

Lapin pitkäaikaisin virallinen säähavaintosarja (Sodankylän Ilmala, IL) alkaa vuodesta 1908. Havaintosarja ei suoranaisesti kuvaa suojametsäalueen olosuhteita vaan olosuhteita alueen eteläpuolella. Aikasarjan pituuden vuoksi sitä käytetään kuitenkin tässä ilmastotrendien ja niiden vaikutusten arvioinnissa. Sarjan mukaan vuoden keskilämpötila on kohonnut Sodankylässä 0,55 °C 103 vuodessa (1908–2010). Vuoden keskilämpötilan kohoamiseen on selkeimmin vaikuttanut ke-



Kuva 2. Kuukausikeskilämpötilojen muutos Sodankylässä 1908–2010.

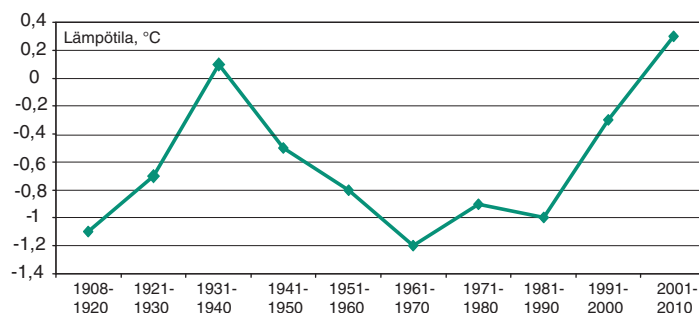
vätkuukausien keskilämpötilojen nousu (kuva 2). Keskilämpötila on puolestaan laskenut joului-, tammi- ja heinäkuussa.

Vuosikymmentasolla keskilämpötilat osoittavat ilmaston selvästi lämmenneen 1960-, 1970- ja 1980-luvuilta kohti 2000-lukua (kuva 3). Kun koko mittausjakson kymmenlukujen vuosikeskiarvo on $-0,62\text{ °C}$, kaudella 2001–2010 se oli $+0,30\text{ °C}$.

Kesien lämpötilat kymmenen viime vuoden aikana ovat olleet samaa tasoa kuin 1930-luvulla. Kasvukauden lämpösomma jäi 2000-luvulla ainoastaan vuonna 2008 alle pitkän aikavälin keskiarvon. Koko mittausjakson aikana Sodankylän lämpösomma on kuitenkin alentunut. Vastaavia lämpimiä ja kylmiä jaksoja kuin 1900-luvulla on esiintynyt aiemminkin viimeisten 1200 vuoden aikana (Lindholm ja Jalkanen 2012). Vuosisatojen keskilämpötiloja vertaamalla kaikkein kylminä metsänraja-alueella on ollut 1600-luvulla ja lämpimintä 1000- ja 1900-luvuilla (McCarroll ym. 2012).

Vuorokausien maksimilämpötilojen vuosikeskiarvo on laskenut 0,27 asteella ja vastaava minimien arvo kohonnut 2,2 asteella 103 vuoden aikana. Äärevyys on siten vähentynyt. Kesäkuukausina kehitys on ollut samanlainen.

Noustessaan $-41,4$ asteesta $-37,1$ asteeseen minimilämpötila on lähestynyt monien hyönteisten talvehtimisen kannalta tärkeää raja-arvoa -36 °C . Koko 103 vuoden aikana talven minimilämpötila on ollut korkeampi kuin -36 °C kaikkiaan 15 vuotena, joista kaksi kolmesta on ollut kolmen viime vuosikymmenen aikana.



Kuva 3. Kymmenlukujen keskilämpötilojen kehitys Sodankylässä 1908–2010.

4 Uudistamisen onnistuminen 2000-luvulla

Metsänuudistamisessa ei ollut 2000-luvun alussa erityisiä ongelmia sen enempiä suojametsäalueella kuin ilmastollisesti ankarilla korkeilla alueilla. Männyn taimien kuoleminen vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti metsänrajan puulajidynamiikkaan (Juntunen ja Neuvonen 2006, Juntunen ym. 2006).

Maaston korkeus vaikuttaa negatiivisesti ja lämpösumma positiivisesti taimettumiseen (Hyppönen 2002, Hyppönen ym. 2002, 2005, 2012 Hallikainen ym. 2007). Männyn luontainen uudistaminen onnistuu kuitenkin sekä korkeilla mailla että suojametsäalueella. Uudistumiselle on vain varattava tavallista enemmän aikaa. Mäntylikasvosten hyödyntäminen ja ns. sekamenetelmien käyttö metsänuudistamisessa on suositeltavaa.

Metsänviljelytutkimusten mukaan myös lämpösumma ja maaston korkeus vaikuttavat viljelyn onnistumiseen ja taimien alkukehitykseen. Esimerkiksi tutkimuksessa maan fysikaalisten ominaisuuksien vaikutuksesta männyn viljelytaimien menestymiseen Lapissa taimia oli elossa kolminkertainen määrä lämpösumma-alueella 850 d.d. verrattuna 650 d.d.:n alueeseen (Mäkitalo 2009).

Ns. Lapin lain varoin viljeltyjen taimikoiden inventointitutkimuksessa maaston korkeus vaikutti negatiivisesti männyn kylvötaimien, mutta ei männyn ja kuusen istutustaimien määrään (Hallikainen ym. 2004). Männyn istutuksen osalta tulokset poikkeavat monesta aiemmasta tutkimuksesta, joissa uudistusalan korkeus ja taimien määrä korreloivat negatiivisesti (Pohtila ja Pohjola 1983).

Lokakuussa tehty syyskylvö onnistui hyvin Keski-Lapissa (Hyppönen ja Hallikainen 2011). Lämpösumma vaikutti positiivisesti niin taimettumiseen kuin taimien alkukehitykseen. Alueella, jossa lämpösumma oli 600 d.d., männyn taimia oli keskimäärin 5000 kpl ha⁻¹. Edullisemmalla 900 d.d.:n alueella niitä oli 28 000 kpl ha⁻¹.

5 Metsätuhot pohjoisessa

Suojametsäalueella ja korkeilla mailla olosuhteet rajoittavat monien taudinaiheuttajien ja tuhoisten mahdollisuuksia ja luovat vuorostaan otollisia olosuhteita toisille tuhoisille tautinaiheuttajille.

Männynharmaakaristetta tavattiin Lapissa ennen vuotta 1980 vain yksittäispuin (Jalkanen 1989). Nyt tauti on yleistynyt metsänrajaa myöten, minne esiintymisen optimialue näyttäisi siirtyneen lyhyessä ajassa (Jalkanen 2009a).

Myös *männynversoruoste* on levinnyt pohjoisemmaksi. Vaikka versoruoste näyttäisi kuivien alkukesien johdosta harvinaistuneen 1970- ja 1980-lukuihin verrattuna, muuttuvissa oloissa sieni voi alkaa yleistyä Ylä-Lapin mäntytaimikoissa. Männynversoruostetta tavattiin Inarin alavilla mailla talousmetsissä männyn kanssa vuosina kuin harmaakariste oli siellä runsaimmillaan.

Varttuneiden taimikoiden *versosurmaa* on ollut korkeilla mailla vähän viimeisten 15 vuoden aikana. Vaikka suurin osa surmakan aiheuttamista tuhoista kohdistuu mäntyihin tiettyinä epidemiovuosina, sieni on merkittävä taimien tappaja myös muina vuosina. Tämä korostuu etenkin korkeilla mailla. Versosurma on *männynalvihin*, *mäntykoron* ja *abioottisten tuhojen* ohella männyn uudistamisen ja kasvun esteenä erityisesti Lapin kuivilla, nummetuvilla kankailla (kuva



Kuva 4. Kylvötupas on tuhoutunut pääosin männynjalaviehmeeseen ja osin versosurmaan Sallan Naruskalla. Kuva: R. Jalkanen.

4). Männynjalaviehme on Lapin yleisin sienitauti (Jalkanen 2005), joka merkittävien taimitappioiden rinnalla karsii taimikoista alttiit yksilöt pois.

Aggressiivinen *tervasroso* leviää ja runsastuu jatkuvasti eteläisen Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan pohjoisosien taimikoissa (Jalkanen 2005, 2009b). Merkkejä tervasrosan leviämisestä ankarampiin olosuhteisiin ei ole, ja ainakin toistaiseksi sitä esiintyy metsänraja-alueella selvästi rajoituneemmin (Jalkanen 2003).

Saariselän tunturivyöhykkeen männiköissä tavataan paikallinen *ruskomäntypistiäiskanta*, jonka esiintymisen metsänrajamänniköissä mahdollistaa ympäristöään korkeampi lämpötila. Talvilämpötilojen nousun myötä lajilla on periaatteessa suuri potentiaali levitä pohjoisiin mäntytaimikoihin myös korkeilla alueilla.

Pohjois-Lapin tunturikoivikoita kohtaa ajoittain lehtiä syövien hyönteisten kuten *tunturimittarin* tai *hallamittarin* joukkoesiintymä (Jalkanen 2006, Virtanen ym. 2006, Kauhanen ja Mikkola 2011). Molempien lajien munat kestävät talvella matalia lämpötiloja, hallamittarin -35 °C ja tunturimittarin -36 °C (Niemelä 1979). Mittaritoukkien tunturikoivikoissa aiheuttamat laaja-alaiset tuhot eivät vaikuta metsätalouteen, mutta tunturikoivun ekofysiologian ohella ne vaikuttavat mm. porotalouden edellytyksiin ja asukkaiden kotitarvepuun saantiin.

6 Päätelmiä

Ilmasto on viime vuosikymmenellä ollut metsän uudistumiselle suotuisa Lapin suojametsäalueella ja Pohjois-Suomen korkeilla mailla. Kesien lämpötilat ovat jakson aikana olleet suurin piirtein samaa tasoa kuin 1930-luvulla. Myös lämpöolosuhteiden äärevyys on tasoittunut. Lämmin ilmastojakso on vaikuttanut siihen, että taimettuminen on onnistunut vähintäänkin tyydyttävästi ja että taimikuolleisuus on pysynyt vähäisenä.

Uudistamistutkimukset osoittavat lämpösumman vaikuttavan positiivisesti ja maaston korkeuden negatiivisesti metsän uudistamiseen, nopeuteen ja taimien alkukehitykseen. Metsien uudistamisessa ei ole viime aikoina ollut erityisiä ongelmia ilmastollisesti kaikkein ankarimmillakaan seuduilla.

Vuosituhanne vaihteen jälkeen tuhoilla ei ole ollut suurta vaikutusta havumetsien menestymiseen. Erilaisten tuhosienten ja -hyönteisten leviäminen aikaisempaa elinaluettaan pohjoisemmaksi viittaa kuitenkin siihen, että muuttuva ilmasto voi tulevaisuudessa entistä enemmän vaikuttaa tuhojen määrään ja vakavuuteen pohjoisimmilla ja korkeimmilla metsäalueilla. Tunturi- ja hallamittarin laaja-alaiset tuhot Pohjois-Lapin tunturikoivikoissa eivät vaikuta metsätalouteen, mutta porotalouden edellytyksiin ja asukkaiden kotitarvepuun saantiin niillä on vaikutusta. Tuhonaiheuttajien vaikutuksia havumetsien uudistumiseen ja kasvuun sekä niiden tuhoutumiseen tulee jatkuvasti seurata.

Kirjallisuus

- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Hyvönen, J. & Niemelä, J. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland. *Silva Fennica* 41(1): 71–88.
- , Hyppönen, M., Jalkanen, R. & Mäkitalo, K. 2004. Metsänviljelyn onnistuminen Lapin yksityismetsissä vuosina 1984–1995. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2004: 3–20.
- Hokajärvi, T. (toim.). 1997. Metsänhoito-ohjeet. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 10. 60 s.
- Hyppönen, M. 2002. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 844. 69 s + osajulkaisut.
- & Hallikainen, V. 2011. Factors affecting the success of autumn direct seeding of *Pinus sylvestris* L. in Finnish Lapland, *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(6): 515–529.
- , Alenius, V. & Valkonen, S. 2005. Models for the establishment and height development of naturally regenerated *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 347–357.
- , Hyvönen, J. & Valkonen, S. 2002. Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen Lapin yksityismetsissä 1960-, 1970- ja 1980-lukujen siemenpuuhakuissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 559–574.
- , Hallikainen, V., Niemelä, J. & Rautio, P. 2012. Contradictory role of understory vegetation on success of Scots pine regeneration (käsikirjoitus).
- , Härkönen, J., Keränen, K., Riissanen, N. & Tikkanen, J. (toim.). 2001. Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksukset. Kajaanin kirjapaino Oy. 60 s.
- , Varmola, M., Juntunen, V., Lohi, T., Mikkola, K., Mäkitalo, K. & Timonen, M. 2003. Metsien uudistuminen suojametsäalueella. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2003: 33–47.
- Hyvän metsänhoidon suosituksukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 100 s.
- Jalkanen, R. 1989. Lapin metsäpatologiset ongelmat. Julkaisussa: Saastamoinen, O. & Varmola, M. (toim.). *Lapin metsäkirja*. *Acta Lapponica Fenniae* 15: 32–47.
- 2003. Havupuutaimikoiden tuhojen esiintyminen ja merkittävyys Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2003: 59–68.
- 2005. Metsätuhot ja metsänuudistaminen. Julkaisussa: Hyppönen, M., Jalkanen, R. & Hallikainen, V. (toim.). *Metsätaloutta kairoilla – metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa*. S. 150–172.
- 2006. Utsjoella suuri hallamittarin tuhoalue. *Metsälehti* 16: 7.
- 2009a. Harmaakariste Inarin männiköiden kimpussa. *Inarilainen* 17: 22.
- 2009b. Tervasroso jatkaa leviämistään Pohjois-Suomessa. *Maaseudun Tulevaisuus* 11.5.2009.
- Juntunen, V. & Neuvonen, S. 2006. Natural regeneration of Scots pine and Norway spruce close to the timberline in Northern Finland. *Silva Fennica* 40(3): 443–458.
- , Neuvonen, S., Norokorpi, Y. & Tasanen, T. 2002. Potential for timberline advance in northern Finland, as revealed by monitoring during 1983–1999. *Arctic* 55(4): 348–361.
- Kauhanen, H. & Mikkola, K. 2011. Tunturi- ja hallamittarituhot Lapissa. Julkaisussa: Poropäivät 2011, Kaamanen 28.–29.4. Kooste Poropäivien esitelmätiivistelmistä ja tauluesitykset. s. 21–23.
- Keskimölä, A., Heikkinen, E. & Keränen, K. 2007. Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksukset. 58 s.
- Kubin, E., Kemppainen, S. & Pasanen, J. 2001. Korkeiden alueiden metsien uudistuminen. Seurantareport-

- ti. 12 s.
- , Kempainen, S. & Pasanen, J. 2002. Korkeiden alueiden metsien uudistuminen. Julkaisussa: Hyppönen, M., Jortikka, S. & Tapaninen, S. (toim.). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 876: 65–72.
- Lapin metsäkeskus 2001–2010. Lapin metsäkeskuksen vuositilastot suojametsäalueen hakkuista.
- Lindholm, M. & Jalkanen, R. 2012. Subcentury scale variability in height-increment and tree-ring width chronologies of Scots pine since AD 745 in northern Fennoscandia. *The Holocene* 22(5): 571–577.
- McCarroll, D., Loader, N., Jalkanen, R., Gagen, M., Grudd, H., Gunnarson, B., Kirchhefer, A., Kononov, Y., Boettger, T., Friedrich, M., Linderholm, H., Lindholm, M., Los, S., Remmele, S., Yamazaki, H., Young, G. & Zorita, E. 2012. A 1200-year multi-proxy record of tree growth and summer temperature at the northern pine forest limit of Europe. *The Holocene* (painossa).
- Metsälaki. 1996. 1093/1996.
- Mäkitalo, K., 2009. Soil hydrological properties and conditions, site preparation, and the long-term performance of planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on upland forest sites in Finnish Lapland. *Dissertationes Forestales* 80. 71 s + osajulkaisut.
- Niemelä, P. 1979. Topographical delimitation of *Oporinia*-damages: experimental evidence of the effect of winter temperature. *Reports from the Kevo Subarctic Research Station* 15: 33–36.
- Oinonen, E., Sarvas, R. & Siren, G. 1958. Lapin suojametsien käsittelyohjeet. *Moniste*. 23 s.
- Pohtila, E. & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–1972 Lappiin perustettujen aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. *Silva Fennica* 17(3): 201–217.
- Suoheimo, J. 1998. Ehdotus valtioneuvoston päätökseksi suojametsistä. *Muistio*. 6 s.
- Valtioneuvoston päätös suojametsistä. 1998. 844/1998.
- Varmola, M., Hyppönen, M., Mäkitalo, K., Mikkola, K. & Timonen, M. 2004. Forest management and regeneration success in protection forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 424–441.

Uudistamistuloksen vaihtelun vaikutus uudistamisen kustannustehokkuuteen metsänviljelyssä, esimerkki Pohjois-Suomesta

Anssi Ahtikoski

1 Johdanto

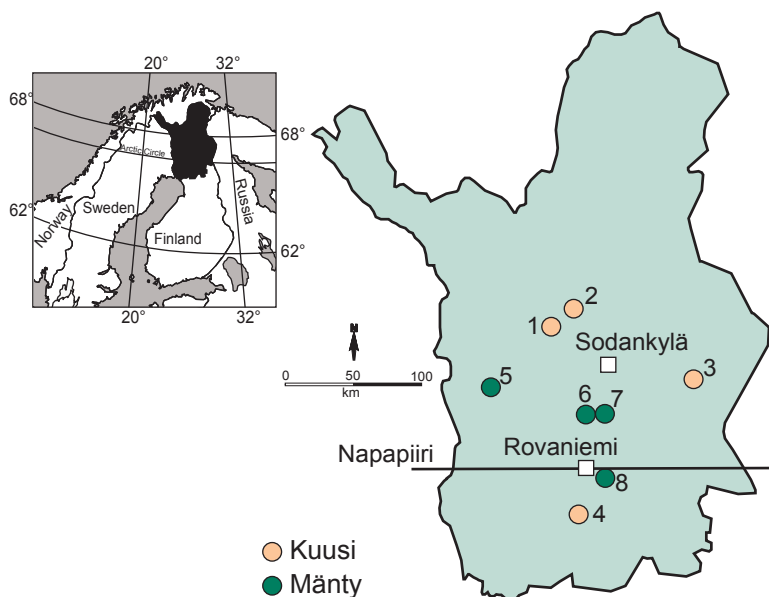
Epäsuotuisat maaperän olosuhteet yhdistettynä ankaraan ilmastoon (Varmola ym. 2004) ovat muodostuneet pullonkaulaksi männyn uudistamiselle Pohjois-Suomessa (Pohtila 1977, Mäkitalo 1999). Etenkin männyn kylvön onnistuminen on vaihdellut erittäin paljon – niin Pohjois-Ruotsissa (Winsa ja Sahlen 2001) kuin keskisessä ja pohjoisessa Suomessakin (Valtanen ja Engberg 1987). Toisaalta maanmuokkauksella männyn istutuksen yhteydessä on saavutettu merkittäviä tuloksia – eloonjääminen ja taimien kasvu ovat selkeästi parantuneet maanmuokkauksen myötä (Roturier ja Bergsten 2006).

Vaikka metsänuudistamisen dynamiikasta on olemassa runsaasti kirjallisuutta (esim. Greene ym. 1999, Peterson ja Carson 1996) samoin kuin maanmuokkauksesta (esim. Sutton 1993, Sutherland ja Foreman 2000, Sutton ym. 2001, Simard ym. 2003), metsänuudistamisen ekonomiasta on varsin vähän julkaistua tietoa (Hawkins ym. 2006, Hyytiäinen ym. 2006). Lisäksi, tähänastinen metsäekonominen kirjallisuus on keskittynyt metsikkötason deterministisiin optimointeihin (varioiden mm. istutustiheyttä), ja metsänuudistamisen epävarmuuden taloudellinen tarkastelu on jäänyt merkittävästi vähemmälle huomiolle (Zhou 1999). Näyttääkin siltä, että epävarmuuden ottaminen huomioon (ts. mallintaminen) metsikkötason taloudellisissa tarkasteluissa on varsin tervetullut lähestymistapa, jota ei liioin ole aiemmin sovellettu metsäekonomisessa tutkimuksessa.

Kun eri maanmuokkausmenetelmiä yhdistetään eri metsänviljelytapoihin, saadaan vaihtoehtoisia metsänuudistamisketjuja (Hyytiäinen ym. 2006). Metsänuudistamisketjut poikkeavat merkittävästi niin kustannuksiltaan kuin tuloksiltaan. Tuloksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä metsänuudistamisen onnistumista elävien taimien määrällä mitattuna. Lähtökohtaisesti metsänuudistamisessa on siis valittavana useita vaihtoehtoisia metsänuudistamisketjuja. Näiden keskinäisen edullisuuden tarkastelussa on otettava huomioon, millä varmuudella (todennäköisyydellä) uudistusala saadaan riittävästi taimettumaan. Tutkimuksessa verrattiin 1970-luvulla Pohjois-Suomessa männyn uudistamisessa käytettyjen metsänuudistamisketjujen kustannustehokkuutta. Uudistusaloilla tehtyjen inventointien perusteella taimettumistulos oli hyvin tiedossa kullakin vaihtoehtoisella käsittelytavalla. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, millaiseksi muodostuu kustannuksiltaan erilaisten metsänuudistamisketjujen järjestys, jos tarkasteluun sisällytetään uudistamisen epävarmuus.

2 Aineisto ja menetelmät

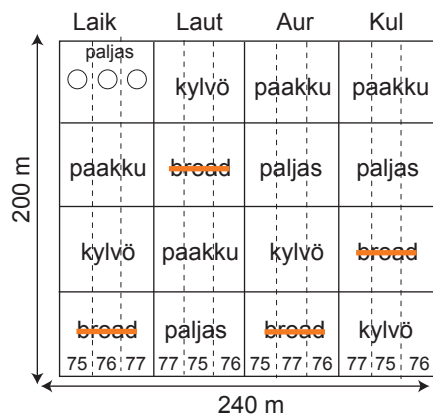
Tutkimusaineisto koostui kahdeksasta erillisestä Pohjois-Suomessa sijaitsevasta koekentästä, joista neljä oli aiemmin mäntyvaltaisia kasvupaikkoja ja neljä kuusivaltaisia (kuva 1). Nämä olivat luontaisen sukkession kautta muodostuneet mänty- ja kuusivaltaisiksi (Pohtila ja Pohjola 1985). Kooltaan koekentät olivat kukin 4,8 hehtaaria.



Kuva 1. Tutkimuksen koekentät Pohjois-Suomessa. Kuusi = aiemmin kuusivaltaiset kasvupaikat ja Mänty = aiemmin mäntyvaltaiset kasvupaikat.

Koejärjestely toteutettiin satunnaistettuna osaruutukokeena (engl. split-plot design). Koekentät oli edelleen jaettu 60 m * 200 m ruutuihin (kuva 2), ja niille sovellettiin neljää vaihtoehtoista maanmuokkausmenetelmää (kulotus, laikutus, lautasauraus ja auraus). Maanmuokkausmenetelmät oli satunnaistettu ruutuihin. Kukin ruutu oli edelleen jaettu kolmeen osaruutuun 60 m * 50 m (kuva 2), joille edelleen satunnaistettiin metsänviljelytavat (suunnattu kylvö, istutus 2-vuotiailla koulituilla paljasjuurisilla taimilla ja istutus paakkutaimilla). Seikkaperäinen kuvaus koejärjestelystä löytyy Mäkitalon artikkelista (1999).

Metsänuudistamisketjuja muodostui näin kaikkiaan 12 kappaletta (4 maanmuokkaustapaa * 3 metsänviljelytapaa), ja ne on esitetty suorine yksikkökustannuksineen taulukossa 1.

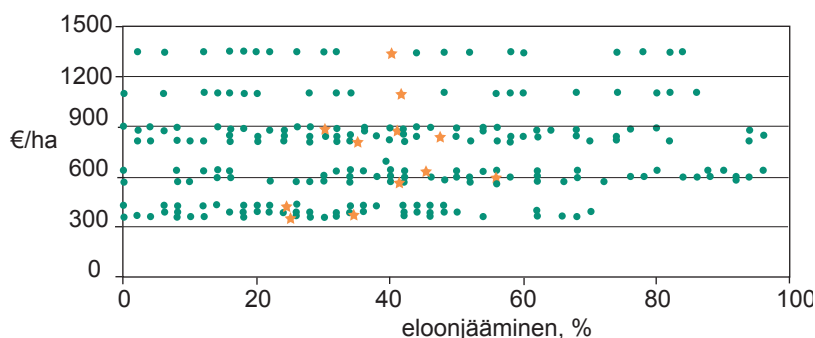


Kuva 2. Koejärjestely: ruudut, osaruudut ja näihin satunnaistetut maanmuokkaus- (ruudut) ja metsänviljelymenetelmät (osaruudut). Hajakylvöketju (brood) ei sisällynyt verrattaviin menetelmiin. Lukuarvot 75, 76 ja 77 kuvaavat viljelyvuosia 1975–1977.

Taulukko 1. Metsänuudistamisketjut reaalisine yksikkökustannuksineen, €/ha. Suorat yksikkökustannukset pohjautuvat nimellishintaisiin aikasarjoihin eri vuosikymmeniltä (livarinen ym. 1979, Hämäläinen ym. 1985, Aarnio ja Rantala 1999, Metsäkeskus 2007). Nimelliset yksikkökustannukset muutettiin edelleen reaalisiksi deflatoimalla aikasarjat kotimaisella tukkuhintaindeksillä, perusvuosi 2007. Aikasarjan markkamääräiset lukuarvot on muutettu euromääräisiksi vaihtosuhteella 1 € = 5,94573 Suomen markkaa.

Metsänuudistamisketjut	Maanmuok- kaus	Viljely	Yhteensä
KETJU 1: Laikutus & kylvö	200,0	228,8	428,8
KETJU 2: Laikutus & istutus 2-vuotiailla paljasjuurisilla taimilla	200	682,6	882,6
KETJU 3: Laikutus & istutus paakkutaimilla	200	438,9	638,9
KETJU 4: Auraus & kylvö	162,5	228,8	391,3
KETJU 5: Auraus istutus 2-vuotiailla paljasjuurisilla taimilla	162,5	682,6	845,1
KETJU 6: Auraus & istutus paakkutaimilla	162,5	438,9	601,4
KETJU 7: Kulotus ja laikutus & kylvö	667,5	682,6	1350,1
KETJU 8: Kulotus ja laikutus & istutus 2-vuotiailla palj.taimilla	667,5	438,9	1106,4
KETJU 9: Kulotus ja laikutus & istutus paakkutaimilla	667,5	228,8	896,3
KETJU 10: Lautasauraus & kylvö	134,3	228,8	363,1
KETJU 11: Lautasauraus & istutus 2-vuotiailla palj.taimilla	134,3	682,6	816,9
KETJU 12: Lautasauraus & istutus paakkutaimilla	134,3	438,9	573,2

Koska lähtökohtaisesti eri metsänuudistamisketjujen yksikkökustannukset erosivat toisistaan (taulukko 1), oli mielenkiintoista selvittää miten paljon taimettumistulokset eri ketjujen välillä vaihtelivat. Kuvassa 3 on esitetty koko aineistossa (kahdeksan koekenttää) sekä taimettumistuloksen vaihtelu että kunkin metsänuudistamisketjun keskimääräinen yksikkökustannus. Kuvasta nähdään, että taimettumistuloksen vaihtelu (eloonjääminen, %) oli erittäin suurta – samoin yksikkökustannusten vaihtelu. Esimerkiksi noin 40 %:n taimien eloonjääminen saavutettiin suunnilleen yksikkökustannuksilla 600–1400 €/ha. Yhtälaillla, investoimalla noin 600 €/ha metsänuudistamiseen, taimettumistulos vaihteli välillä 0–94 %. On selvää, että tällaisiin vaihteluihin pitää löytyä menetelmä, joka pystyy systemaattisesti ottamaan huomioon uudistamistulokseen liittyvän epävarmuuden ja edelleen liittämään epävarmuuden kunkin metsänuudistamisketjun kustannuksiin (€/ha). Lyhyesti, muuttuuko metsänuudistamisketjujen paremmuusjärjestys, jos pystymme ottamaan huomioon kuhunkin uudistamisketjuun liittyvän epävarmuuden, toisin sanoen uudistamisen onnistumisen todennäköisyyden?



Kuva 3. Taimettumistuloksen (kuvassa eloonjääminen, %) ja metsänuudistamisketjujen yksikkökustannusten vaihtelu (oranssit tähdet) koko aineistossa. Taimettumistulos mitattiin yhdistämällä kolmen perättäisen viljelyvuoden (vuodet 1975, 1976 ja 1977) tulokset, ja mitattava muuttuja oli elävien taimien lukumäärä kylvövuodessa alkuperäisen viljelytiheyden ollessa 2500 tainta/hehtaari.

Kunkin metsänuudistamisketjun onnistumisen todennäköisyys mallinnettiin empiirisesti sovittamalla erimuotoisia kertymäfunktioita kenttäkokeissa mitattuihin elävien taimien määriin (SAS 2006). Yleisesti, satunnaismuuttujalle X (iso kirjain: tässä elävien taimien määrä) voidaan määrittellä kumulatiivinen kertymäfunktio *cdf* siten, että kukin muuttujan arvo x (pieni kirjain: tässä yksittäiselle viljelykohdalle mitattu/havaittu elävien taimien määrä) esitetään yhtälöllä $F(x) = P(X \leq x)$. Jatkuvamutoisena funktiona (esim. Maddala 1977, Greene 1997):

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt \quad , \text{ ja diskreettisenä funktiona esitettynä: } [1]$$

$$F(x) = \sum_{\{y|y \leq x\}} f(y) = \sum_{\{y|y \leq x\}} \Pr(X = y) \quad [2]$$

siten, että $\Pr(X < x) = 1 - F(x)$, missä X kuvaa elävien taimien määrää ja x puolestaan kullekin yksittäiselle viljelykohdalle mitattua elävien viljelytaimien lukuarvoa (maks. 50 s.e. viljelytiheys 2500 kpl/ha). Tässä tutkimuksessa yksittäisiä viljelykohtia oli 12 (3 toistoa * 4 kenttäkoetta) kutakin metsänuudistamisketjua kohden. Näin ollen kertymäfunktiot jouduttiin sovittamaan diskreettisesti muodossa. Teknisesti kumulatiiviset kertymäfunktiosovitukset toteutettiin SAS-ohjelmistolla (SAS 2006). Lisäksi kertymäfunktiot määritettiin ainoastaan kahdelle raja-arvolle: todennäköisyys sille, että eläviä taimia on vähintään 500 kpl/ha ja todennäköisyys sille, että eläviä taimia on vähintään 1100 kpl/ha. Näistä raja-arvoista ensimmäinen (500 kpl/ha) kuvaa voimassaolevaa uudelleenviljelyrajaa ja jälkimmäinen (1100 kpl/ha) täydennysistutusrajaa (Metsäkeskus 2007).

Koska kertymäfunktioiden sovittaminen aineistoon edellyttää tiettyä ”kriittistä massaa” eli riittävästi havaintoja, jotta ylipäänsä sovitettava funktio voidaan muodostaa ja edelleen tilastollisesti testata, meneteltiin tässä tutkimuksessa seuraavasti. Kunkin metsänuudistamisketjun (ks. taulukko 1) onnistuminen määritettiin siten, että kolmen perättäisen viljelyvuoden (1975, 1976 ja 1977) tulokset yhdistettiin. Näin saatiin enemmän havaintoja todennäköisyysfunktioiden sovittamiseen. Tässä yhteydessä on korostettava, että kaikille metsänuudistamisketjuille sääolosuhteet viljelyvuosina olivat identtiset, joten erillisten vuosien tulokset voitiin yhdistää. Elävien taimien määrä, pituus ja viimeisen vuosikasvun pituus mitattiin inventoinnissa, tulosten edustaessa 22-, 23- ja 24-vuotiaita taimikoita. Ainoastaan viljeltyt taimet mitattiin.

Kun kullekin metsänuudistamisketjulle oli lopulta saatu sovitettua kumulatiivinen kertymäfunktio, voitiin edelleen määrittää millä todennäköisyydellä kukin metsänuudistamisketju voi tuottaa a) 500 tai b) 1100 elävää tainta hehtaarille. Nämä todennäköisyydet on esitetty taulukossa 2.

Laskettuja todennäköisyyksiä (taulukko 2) hyödynnettiin edelleen määrittäessä kustannustehokkuusindeksejä. Indeksit määritettiin seuraavalla laskentakaavalla:

$$I_w^j = D_C^j * \frac{1}{PROB_s^j} \quad , \text{ missä } I_w^j = \text{indeksilukuarvo metsänuudistamisketjulle } j \text{ (} j = 1, 2, \dots, 12 \text{)} [3]$$

Taulukko 2. Todennäköisyydet (%) a) 500 elävälle ja b) 1100 elävälle taimelle metsänuudistamisketjuittain (1–12).

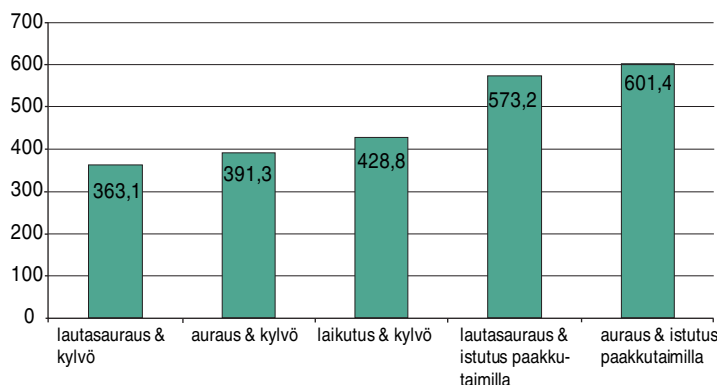
Metsänuudistamisketju	Aiemmin kuusivaltaiset kasvupaikat 500 / 1 100	Aiemmin mäntyvaltaiset kasvupaikat 500 / 1 100
KETJU 1: Laikutus & kylvä	45% / 27% ^{a)}	71% / 15%
KETJU 2: Laikutus & istutus 2-vuotiailla paljasjuurisilla taimilla	68% / 38%	89% / 45%
KETJU 3: Laikutus & istutus paakkutaimilla	74% / 43%	82% / 60%
KETJU 4: Auraus & kylvä	66% / 36 %	88% / 30%
KETJU 5: Auraus istutus 2-vuotiailla paljasjuurisilla taimilla	88% / 52 %	91% / 54%
KETJU 6: Auraus & istutus paakkutaimilla	91% / 57%	93 % / 73 %
KETJU 7: Kulotus ja laikutus & kylvä	45% / 22%	81 % / 50%
KETJU 8: Kulotus ja laikutus & istutus 2-vuotiailla palj.taimilla	52% / 35%	81% /50%
KETJU 9: Kulotus ja laikutus & istutus paakkutaimilla	53% / 36%	89% / 66%
KETJU 10: Lautasauraus & kylvä	29 % / 14%	76% / 38%
KETJU 11: Lautasauraus & istutus 2-vuotiailla palj. taimilla	58% / 22%	87 % / 52 %
KETJU 12: Lautasauraus & istutus paakkutaimilla	64% / 16%	91% / 69%

^{a)} 45 % todennäköisyys jotta 500 elävää tainta/ha ja 27 % todennäköisyys saavuttaa 1100 elävää tainta/ha.

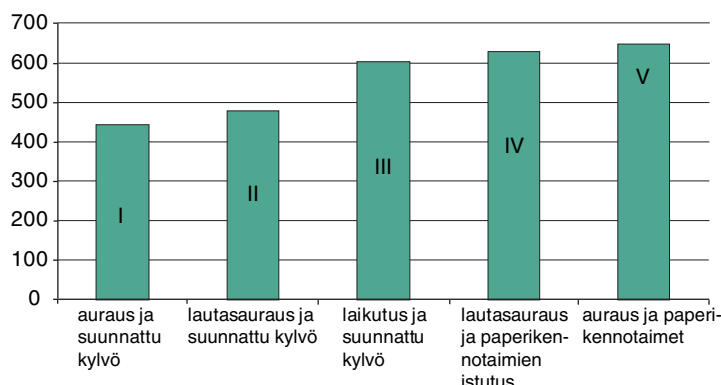
D_c^j = suorat yksikkökustannukset, €/ha (ks. taulukko 1), $PROB_s^j$ = todennäköisyys saavuttaa joko 500 tai 1100 elävää tainta/ha metsänuudistamisketjussa j . Tässä tutkimuksessa s saa lukuarvon 500 tai 1100. Lyhyesti, mitä pienempi indeksilukuarvo sitä kustannustehokkaampi metsänuudistamisketju. Tutkimuksessa verrattiin muuttuuko metsänuudistamisketjujen paremmuusjärjestys, kun tarkastelussa otetaan huomioon kunkin uudistamisketjun todennäköisyys saavuttaa tietty määrä eläviä taimia hehtaaria kohti (500 tai 1100) verrattuna tilanteeseen, jossa metsänuudistamisketjut asetetaan paremmuusjärjestykseen suorien yksikkökustannusten (taulukko 1) mukaan. Onko siis epävarmuuden ottamisella taloustarkastelussa huomioon mitään merkitystä?

3 Tulokset

Kun metsänuudistamisketjut rankataan paremmuusjärjestykseen pelkästään suorien yksikkökustannusten perusteella (taulukko 1), muodostuu parhaimmaksi metsänuudistamisketjuksi lautasauraus & kylvä (kuva 4). Toiseksi ja kolmanneksi parhaat ketjut ovat vastaavasti auraus & kylvä ja



Kuva 4. Viiden parhaimman (kustannustehokkaimman) metsänuudistamisketjun suorat yksikkökustannukset, €/ha.



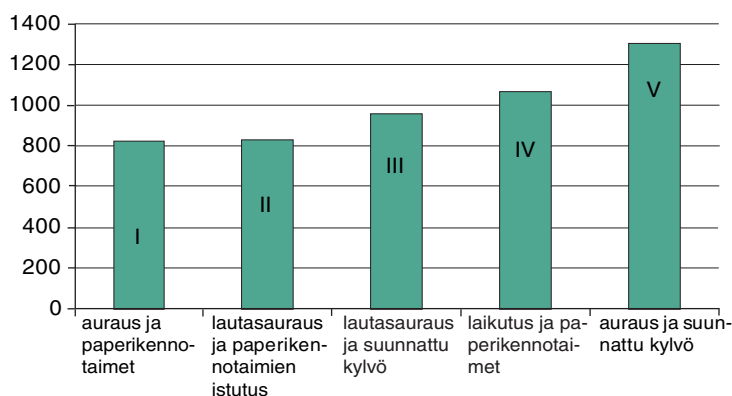
Kuva 5a. Viisi kustannustehokkainta (I–V) metsänuudistamisketjua, kun tavoitteena on saada 500 elävää männyntainta hehtaarilla aiemmin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla. Pystyakselin lukuarvot (0–700) ovat indeksilukuarvoja, eikä niitä voida rinnastaa kuvan 4 hehtaarikohtaisiin kustannuksiin. Tämän kuvan lukuarvot on saatu kaavan [3] mukaisesti. Matalin pylväs (kuvassa merkintä "I") vastaa kustannustehokkainta metsänuudistamisketjua.

laikutus & kylvö (kuva 4). Tässä yhteydessä on tärkeää korostaa, että suoriin yksikkökustannuksiin perustuvat tulokset ovat riippumattomia siitä, onko kasvupaikka aiemmin ollut puustoltaan mänty- vai kuusivaltainen. Esitysteknisistä syistä johtuen tässä esitetään ainoastaan viiden parhaimman (kustannustehokkaimman) metsänuudistamisketjun tulokset.

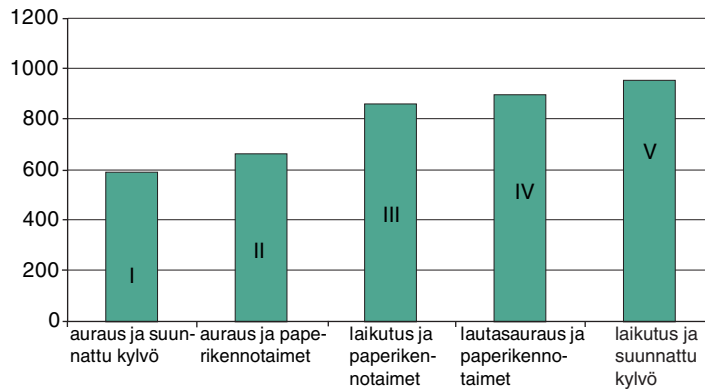
Kun taloustarkastelussa otettiin lisäksi huomioon kuhunkin metsänuudistamisketjuun liittyvä uudistamisen epävarmuus (määrittämällä kaavan [3] mukaan kustannustehokkuusindeksi), muuttui paremmuusjärjestys ketjujen kesken (kuva 5a, b ja kuva 6a, b). Aiemmin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla kustannustehokkain metsänuudistamisketju oli aurausta ja suunnattua kylvöä (viirukylvö), kun tavoitteena oli saada 500 elävää tainta (kuva 5a).

Vastaavasti, kustannustehokkain metsänuudistamisketju oli aurausta ja istutusta paperikennotaimilla, kun tavoitteena oli saada vähintään 1100 elävää tainta aiemmin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla (kuva 5b).

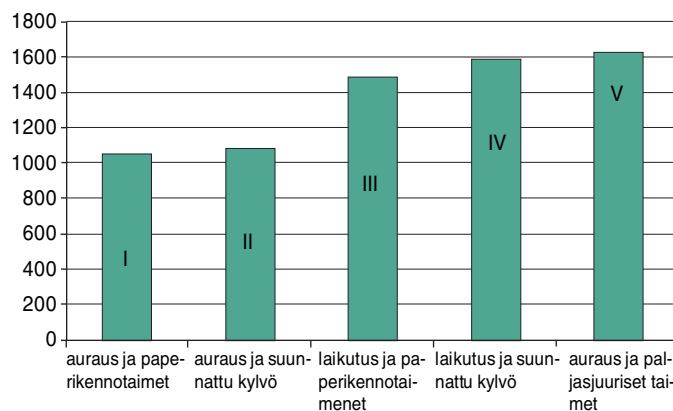
Aiemmin kuusivaltaisilla kasvupaikoilla kustannustehokkaimmaksi metsänuudistamisketjuksi osoittautui aurausta ja suunnattua kylvöä, kun tavoitteena oli saada vähintään 500 elävää tainta (kuva 6a) – kustannustehokkain uudistamisketju on siis sama kuin aiemmin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla (vrt. kuva 5a).



Kuva 5b. Viisi kustannustehokkainta (I–V) metsänuudistamisketjua, kun tavoitteena on saada 1100 elävää männyntainta hehtaarilla aiemmin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla. [Kuvan yksityiskohdat – ks. kuva 5a].



Kuva 6a. Viisi kustannustehokkainta (I–V) metsänuudistamisketjua, kun tavoitteena on saada 500 elävää männyntainta hehtaarilla aiemmin kuusivaltaisilla kasvupaikoilla. [Kuvan yksityiskohtat – ks. kuva 5a].



Kuva 6b. Viisi kustannustehokkainta (I–V) metsänuudistamisketjua, kun tavoitteena on saada 1100 elävää männyntainta hehtaarilla aiemmin kuusivaltaisilla kasvupaikoilla. [Kuvan yksityiskohtat – ks. kuva 5a].

Kun tavoitteena oli saada vähintään täydennysistutusrajan verran (1100 kpl/ha) eläviä taimia aiemmin kuusivaltaisilla kasvupaikoilla, kustannustehokkaimmaksi menetelmäksi osoittautui auraus ja istutus paperikennottaimilla (kuva 6b).

Jotta saisimme selkeän ja yksiselitteisen kokonaiskuvan siitä, onko uudistamisen epävarmuuden huomioon ottamisella aidosti merkitystä taloustrastasteluissa, on syytä tehdä yhteenveto kuvista 4, 5a, 5b, 6a ja 6b. Tämän yhteenvetön tulokset esitetään taulukossa 3.

Taulukosta 3 nähdään varsin yksityiskohtaisesti, että metsänuudistamisen epävarmuuden ottaminen huomioon taloustrastasteluissa muuttaa selvästi metsänuudistamisketjujen paremmuusjärjestyksiä verrattaessa tuloksia arviointimenetelmään, joka ottaa huomioon pelkästään kunkin metsänuudistamisketjun suorat yksikkökustannukset, €/ha.

Taulukko 3. Yhteenvetotaulukko kuvine 4, 5a, 5b, 6a ja 6b tuloksista. Kolme kustannustehokkainta metsänuudistamisketjua kahdella eri arviointimentelmällä: pelkästään suoriin yksikkökustannuksiin perustuva ja epävarmuuden huomioon ottava menetelmä.

Arviointimenetelmä	Aiemmin mäntyvaltaiset kasvupaikat 500 elävää tainta/ha / 1100 elävää tainta/ha • paras (kustannustehokkain), I • toiseksi paras, II • kolmanneksi paras, III	Aiemmin kuusivaltaiset kasvupaikat 500 elävää tainta/ha / 1100 elävää tainta/ha • paras (kustannustehokkain), I • toiseksi paras, II • kolmanneksi paras, III
Pelkästään suorat yksikkökustannukset, €/ha	• I: lautasauraus ja kylvö ^{a)} / lautasauraus ja kylvö • II: auraus ja kylvö / auraus ja kylvö • III: laikutus ja kylvö / laikutus ja kylvö	• I: lautasauraus ja kylvö / lautasauraus ja kylvö • II: auraus ja kylvö / auraus ja kylvö • III: laikutus ja kylvö / laikutus ja kylvö
Kustannustehokkuusindeksi (kaava [3])	• I: auraus ja suunnattu kylvö / auraus ja paperikennotaimet ^{b)} • II: lautasauraus ja suunnattu kylvö / lautasauraus ja paperikennotaimet • III: laikutus ja suunnattu kylvö / lautasauraus ja suunnattu kylvö	• I: auraus ja suunnattu kylvö / auraus ja paperikennotaimet • II: auraus ja paperikennotaimet / auraus ja suunnattu kylvö • III: laikutus ja paperikennotaimet / laikutus ja paperikennotaimet

^{a)} laskettaessa pelkästään suoriin yksikkökustannuksiin perustuen kustannustehokkuuksia, ei elävien taimien tavoitemäärällä eikä kasvupaikan aiemmalla puulajivaltaisuuksella ollut merkitystä. Toisin sanoen, samat metsänuudistamisketjut olivat kustannustehokkaimpia riippumatta tavoitetaimimäärästä tai aiemmasta puulajivaltaisuudesta, ^{b)} kun talouslaskelmissa otettiin huomioon kunkin uudistamisketjun epävarmuus (ts. laskemalla todennäköisyys tavoitetaimimäärille) huomattiin, että kustannustehokkaimmat ketjut muuttuivat; esimerkiksi aiemmin mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla kustannustehokkain metsänuudistamisketju oli auraus ja suunnattu kylvö jos tavoitetaimimäärä oli vähintään 500 elävää tainta/hehtaari, vastaavasti vähintään 1100 elävän taimen tavoitemäärällä kustannustehokkain metsänuudistamisketju oli puolestaan auraus ja paperikennotaimet.

4 Johtopäätökset

Toistaiseksi ani harvassa tieteellisessä artikkelissa on tarkastelu epävarmuuden vaikutusta metsänkäsittelyyn yleensä tai kasvumalleihin (Kangas 1999, Goodnow ym. 2008) puhumattakaan epävarmuuden vaikutuksista metsänuudistamisen yhteydessä (Eerikäinen ym. 2006, Miina ja Heinonen 2008). Tutkimusperinne käy vielä harvemmaksi, jos tarkastellaan metsänuudistamisen epävarmuutta ja taloudellisia laskelmia yhdessä (Zhou 1999).

Tämä tutkimus keskittyi tarkastelemaan epävarmuuden ottamista huomioon metsänuudistamisen talouslaskelmissa. Päätaavoite oli selvittää, muuttaako yksittäisiin metsänuudistamisketjuihin liittyvän epävarmuuden ottaminen talouslaskelmissa huomioon merkittävästi vaihtoehtoisten uudistamisketjujen välistä paremmuusjärjestystä (kustannustehokkuus) verrattaessa tarkasteluun, jossa tätä epävarmuutta ei lainkaan oteta huomioon. Ymmärtääksemme tämä tutkimus on ensimmäinen laatuaan Suomessa.

Ennen kuin päätuloksista tehdään johtopäätöksiä, on tässä yhteydessä syytä käydä läpi tutkimukseen liittyvät epävarmuuskohdat, jotta välttyään mahdollisilta virhetulkinnoilta. Ensinnäkin, tässä tutkimuksessa rajoitettiin tarkastelemaan pelkästään kustannustehokkuuksia. Toisin sanoen, eri metsänuudistamisketjujen myöhemmin aikaansaamia hakkuutulokertymisiä ei lainkaan otettu huomioon. Tämä olisi edellyttänyt puuston myöhemmän kehityksen ennustamista esimerkiksi jollakin metsikkösimulaattorilla (kuten Motti-metsikkösimulaattori, ks. Salminen ym. 2005). Tämän tutkimuksen pääpaino oli kuitenkin nimenomaan havaittujen arvojen tarkastelu *ex post* (tässä taimien eloonjääminen), eikä niinkään ennustaa tulevaa puuston kehitystä (*ex ante*).

Tulokset osoittivat varsin yksiselitteisesti, ettei yksikkökustannuksiltaan halvin menetelmä (kustannustehokkain) ole välttämättä paras, jos uudistamisen epävarmuus otetaan huomioon. Tämä tutkimus luo pohjaa sille, että jatkossa tarkasteltaisiin eri metsänuudistamisketjujen kustannustehokkuuksia siten, että metsänuudistamisketjuihin liittyvä epävarmuus olisi automaattisesti talouslaskelmissa mukana. Näin menetellen päästäisiin lähemmäksi oikeampaa laskentatapaa, jolla esimerkiksi osakemarkkinoilla arvioidaan eri osakkeisiin liittyvää riskiä ja ylipäänsä taloudellista kiinnostavuutta (esim. Kostanjcar ym. 2012).

Kirjallisuus

- Aarnio, J. & Rantala, T. 1999. Peltojen luontaisen metsityksen yksityistaloudellinen kannattavuus. Metsätieteen Aikakauskirja 1/1999: 25–36.
- Greene, W.H. 1997. *Econometric Analysis*. Prentice Hall, New Jersey.
- Greene, D.F., Zasada, J.C., Sirois, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Charron, I. & Simard, M.-J. 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 824–839.
- Hämäläinen, J., Kaila, S. ym. 1985. Laskentajärjestelmä metsänviljelyn menetelmien vertailuun. 56 s.
- Hyttiäinen K., Ilomäki, S., Mäkelä, A. & Kinnunen, K. 2006. Economic analysis of stand establishment for Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1169–1189.
- Iivarinen, E., Kaila, S. ym. 1969. Metsänviljelyn suunnittelu ja toteutus. Metsätehon opas, Helsinki. 40 s.
- Kostanjcar, Z., Jeren, B. & Juretic, Z. 2012. Impact of uncertainty in expected return estimation on stock price volatility. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 391(22): 5563–5571.
- Maddala, G.S. 1977. *Econometrics*. McGraw-Hill, New York.
- Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512–525.
- Metsäkeskus 2007. Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksien. 58 s.
- Peterson, C.J. & Carson, W.P. 1996. Generalizing forest regeneration models: the dependence of propagule availability on disturbance history and stand size. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 45–52.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 91(4): 1–98.
- & Pohjola, T. 1985. Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. *Silva Fennica* 19(3): 245–260.
- Roturier, S. & Bergsten, U. 2006. Influence of soil scarification on reindeer foraging and damage to planted *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 209–220.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1): 103–113
- SAS 2006. JMP software, ver. 6.0.1. SAS Institute Inc.
- Simard, S.W., Jones, M.D., Durall, D.M., Hope, G.D., Stathers, R.J., Sorensen, N.S. & Zimonick, B.J. 2003. Chemical and mechanical site preparation: effects on *Pinus contorta* growth, physiology, and microsite quality on grassy, steep forest sites in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1495–1515.
- Sutherland, B. & Foreman, F.F. 2000. Black spruce and vegetation response to chemical and mechanical site preparation on a boreal mixedwood site. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1561–1560.
- Sutton, R.F. 1993. Mounding site preparation: a review of European and North American experience. *New Forest* 6: 151–192.
- , Bedford, L., Stordeur, L. & Grismer, M. 2001. Site preparation for establishing interior spruce in British Columbia: trials at Upper Coalmine and Mackenzie. *Western Journal of Applied Forestry* 16: 9–16.
- Valtananen, J. & Engberg, M. 1986. Vuosina 1960–62 perustetun aurasalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla. *Folia Forestalia* 686: 5–42.

- Varmola, M., Hyppönen, M., Mäkitalo, K., Mikkola, K. & Timonen, M. 2004. Forest management and regeneration success in protection forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 424–441.
- Winsa, H. & Sahlen, K. 2001. Effects of seed invigoration and microsite preparation on seedlings emergence and establishment after direct sowing on *Pinus sylvestris* L at different dates. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 422–428.
- Zhou, W. 1999. Risk-based selection of forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management* 115: 85–92.

Sienitaudiksi tervasroso on kiusallinen vitsaus nuorissa viljelymänniköissä Lapissa

Risto Jalkanen, Tarmo Aalto ja Pekka Närhi

Johdanto

Lapissa tuhonaiheuttajat horjuttavat taimien terveydentilaa ajoittain niin voimakkaasti, että taimikoiden vakiintuminen ja kehittyminen vaarantuu tai suorastaan estyy. Taimia tuhoutuu kaikissa kehitysvaiheissa mitä moninaisimpiin syihin, joiden määrittäminen ei aina edes ole mahdollista. Itämisen ja kehityksen alkuvaiheessa taimia verottavat tai niiden kehitystä haittaavat mm. taimipoltesienet, kanalinnut, kuivuus, märkyys, rouste, eroosio, alhainen lämpötila ja ajan kanssa myös lumi, vaikka se ensisijaisesti suojaa taimia (Jalkanen 2006a). Jo varsin varhaisessa vaiheessa kivennäismaiden pienillä taimilla alkaa esiintyä myös ravinneperäisiä kasvuhäiriöitä (Jalkanen 2006b).

Taimien varttuessa monet taudinaiheuttajat ja tuholaiset haittaavat niiden kehitystä (Jalkanen 1993, Nikula 1993). Männyllä merkittävin tauti Lapissa on männyntalvihome laaja-alaisen ja jokavuotisen esiintymisensä perusteella (Jalkanen 2006b). Pienten kuusten vaatimattomampi uhka on kuusentalvihome, pohjoisboreaalisen havumetsävyöhykkeen tyyppilaji. Kaikista tuhonaiheuttajista suurimmat taloudelliset menetykset Lapin taimikoissa aiheuttaa kuitenkin hirvi (Penttinen ym. 2002), jonka kannanvaihtelut kytkeytyvät suoraan tuhojen määrään. Kasvupaikkatyypistä, lämpösummasta, maastonkorkeudesta ja lumen määrästä riippuen taimia tartuttavat myös surmakka, mäntykoro ja männynversoruoste (Jalkanen 1989, 1993, 2003). Harmaakariste on, levietyään Lappiin 1980-luvun alussa (Jalkanen 1986), ollut erittäin yleinen männyn metsänrajalla 2000-luvulla (Jalkanen 2009). Tavallisia nisäkästuholaisia ovat myyrät (metsä-, pelto-, harmaakuve- ja lapinmyyrä) (Heikkilä 1981, Nikula 1993), joiden kaikkien huippuunsa kohonneet kannat romahtivat joulukuussa 2011 (Jalkanen, suull. tieto). Poro tuhoaa sirkkataimista alkaen männyntaimia talvisen kaivun yhteydessä, lisää taimien riskiä kärsiä kuivuudesta jäkälämaiden yllilaidunnuksen kautta ja hankaa sarvillaan hengiltä suuren määrän jo vakiintuneita männyntaimia. Monin paikoin poro lisäksi hankaloittaa koivun nousua sekapuuksi (Mäkitalo ym. 1998). Mielenkiintoisista tuhonaiheuttajista taimikoissa mainittakoon mm. mäntykirva, pilkkumäntypistiäinen, juurinilurit sekä kuplamörsky ja koukkulatvatauti.

Tervasroso

Yksi pohjoisen yleisimmistä taudeista ja ylipäättänsä tuhonaiheuttajista on tervasroso. VMI7:n yhteydessä 1980-luvun alussa runsaalla kolmella prosentilla Kuusamon männyistä oli tervasroso (Jalkanen 1988). Runsainta tervasroso oli vanhoissa ja pitkään käsittelemättöminä olleissa mäntyvaltaisissa metsissä ja vähäisintä tai suorastaan olematonta taimikoissa. Tämän ns. klassisen tervasrososon aiheuttamat taloudelliset menetykset varttuneissa puustoissa ovat merkittäviä (Kaitera ym. 1994).

Pohjois-Suomesta ja Pohjois-Karjalasta tunnettiin kuitenkin jo VMI7:n aikaan taimikoita, joissa suurin osa männyistä oli tervasrosoisia (kuva 1). Vasta 1990-luvun lopulla varmistui, että kyseessä on tervasrososon aggressiivinen muoto (Hantula ym. 1998). Se on erityisen tehokas leviämään taimikoissa ja nuorissa kasvatusemetsissä (Jalkanen 2005c). Lapin lain turvin perustettujen taimikoiden inventointitulosten mukaan vuonna 2001 tervasrosotuhot keskittyivät Tornionjokilaakson kuntien alueille, etenkin Pelloon. Määrät olivat kuitenkin pieniä, kuntatasolla suurimmillaankin



Kuva 1. Aggressiivisen tervasrosan aiheuttamaa tuhoa mäntytaimikossa. Rovaniemi 16.8. Kuva R. Jalkanen.

vain noin 1–2 % taimista (Jalkanen ym. 2003). Vaikka monet laaja-alaiset tuhot keskittyvät vyöhykkeelle Länsi-Lapista Kainuuseen, käytännössä sekä Pohjois-Suomi että Pohjois-Ruotsi ovat potentiaalista aluetta aggressiivisen tervasrosan tuhoille taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsissä. Huomattavan laajoja eteläisiä nuorten metsien tervasrosotuhoaloja tunnetaan mm. Utajärveltä, Pudasjärveltä ja Taivalkoskelta. Klassinen tervasroso etenee männystä mäntyyn. Sen sijaan aggressiivisen tervasrososienen elinkierto on kuuluu joukko väli-isäntäkasveja, joista yleisimpiä ovat maitikat, Lapissa ennen kaikkea metsämaitikka (Kaitera ja Hantula 1998, Kaitera ym. 1999). Uudet aggressiivisen tervasrosan tartunnat mäntyyn tulevat siten väli-isännän kautta.

Tervasroso on helppo tunnistaa taimesta mm. yksittäisten kuolleiden tai kuolevien oksien (kuva 2) tai latvakuolemien (kuva 3) tai kokonaisten taimien kuolemisen perusteella. Lähes kaikissa tapauksissa sienin lisääntymispaikka, rosainen kohta rungossa tai oksassa on muita kohtia paksumpi, nilan liikakasvun takia turvonnut (kuva 4). Ennen oksan tai latvan kuolemista sieni tuottaa ro-



Kuva 2. Tervasrosan tappamaa oksaa kutsutaan liputtavaksi oksaksi. Rovaniemi 15.8. Kuva R. Jalkanen.



Kuva 3. Tervasroso on tappanut taimen latvan. Rovaniemi 4.8. Kuva R. Jalkanen.

sokohdassa, korossa, runsaasti oranssinvärisiä itiöitä suurissa (\varnothing jopa 0,5 cm) valkeahkoissa itiöpusseissa kesä–heinäkuussa. Kasvukauden aikana puu tuottaa tartunta-alueelle runsaasti pihkaa. Roso on monesti puruinen (ks. kuva 4) tai kokonaan syöty, sillä se näyttää olevan hyvä ravintokohde eräille kaarnakuoriaisille ja myyrille. Talvikausien 2010–2011 ja 2011–2012 myyrähuipun aikana monet vielä elävät rosoiset runko- ja oksakorot katosivatkin myyrien suihin.



Kuva 4. Tervasroson runkokoro sekundaarisine kaarnakuoriaispuruineen. Kuvan 3 mänty. Rovaniemi 4.8. Kuva R. Jalkanen.

Koska itiötuotannon alkaminen uuden kasvaimen tartunnasta kestää Kaiteran (2002) mukaan 5–8 vuotta, tartunnan ajankohtaa ja siten tautiepidemian leviämistä korojen perusteella on hieman hankala määrittää. Siksi hyvänä käytännön mittarina taudin etenemisestä – kuitenkin siis viiveenä tartunnasta – on oksien ja latvojen kuoleminen. Ruskeiden osien – kuolleiden latvojen ja liputtavien oksien – ilmestyminen keskikesällä kertoo hyvin vakavasti tervasrosoepidemian laajentumisesta antaen samalla syyn huoleen tulevasta kehityksestä. Oksassa sieni itiöi yleensä 1–2 vuotta, kunnes oksa kuolee (Kaitera 2000).

Laajastakaan inventoinnista ei välttämättä selviä se vakavuus, minkä aggressiivinen tervasroso voi aiheuttaa nimenomaan metsikkötasolla. Vakavien tuhojen määrä taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsissä on nimittäin lisääntynyt huolestuttavasti vuosi vuodelta, myös 2010-luvulla (Jalkanen 2011). Tauti on jopa estänyt taimikon sulkeutumisen puiden jatkuvan kuolemisen kautta. On aiheellista pohtia, miten metsikön suhteen pitäisi toimia.

Mitä teen aggressiivisen tervasroson vaivaamalle ensiharvennusemetsälle?

Ei paljon hymyilytä, jos ensiharvennusemetsään tulevan taimikon kasvu kääntyy jopa negatiiviseksi, kun nuoreen kasvatusmetsään alkaa ilmestyä alati laajenevia aukkoja aggressiivisen tervasroson takia. Ruotsalaisten ratkaisu Norrbottenissa oli uudistaa pahoin tervasroson runtelemat taimikot. Tarvitaanko Pohjois-Suomessa vastaavia ratkaisuja?

Kun metsikössä on yksittäisiä eläviä tervasrosoisia puita, ne kannattaa poistaa. Jo kuolleet taimet eivät enää tartuta, mutta ne ovat mahdollisesti merkki jostain tulevasta pahasta. Jotta tauti ei pääsisi leviämään, sairastuneet taimikot on syytä ottaa jatkuvaan tarkkailuun poistamalla vuosittain kaikki uudet sairaat männyt. Positiivisista vaikutuksista on monia hyviä esimerkkejä käytännön metsätaloudessa. Taudin yleistyttyä toimintamalleja on useita.

Tutkimme voimakkaan tartunnan kohteena olleen Tervolan Peuranpalon männynviljelyalan, pinta-alaltaan noin 100 ha, saneerausta terveiden puiden hyväksi. Taimikko oli perustettu kylväen kuivan lehdon aurasalueelle. Viljavasta kasvupaikasta, oikein hyvin onnistuneesta viljelystä ja taimikonhoidon viivästyemisestä johtuen runkoluku oli käsittelyhetkellä varsin suuri (kokonaisrunkoluku 3625 kpl/ha, taulukko 1). Männyn keskipituudella 6,6 m runkoluku oli 1500 kpl/ha. Kuusia oli 1325 kpl/ha. Kasvukin oli voimakas merkittävistä alalatkukseen ja jopa runkoon kohdistuneista hirvituhoista huolimatta. Onneksi hirvikannan kasvu ja kukoistus ajoittui vaiheeseen, jossa männyn ylälatvukset olivat jo hirven tavoittamattomissa.

Taulukko 1. Puustotunnuksia mänty- ja kuusikoealoilta ennen saneerausharvennusta Tervolan Peuranpalon Kaitaharjussa syksyllä 2005. Kaikki rinnankorkeuden ylittäneet puut yhden aarin ympyräkoealalta (säde 5,64 m) on laskettu mukaan.

Puulaji	kpl/ha	Mäntykoealat			Kuusikoealat		
		d1.3, cm	Pituus, m	kpl/ha	d1.3, cm	Pituus, m	
Mänty	1600	9,6	6,9	1400	8,9	6,2	
Kuusi	1350	3,2	3,0	1300	4,1	3,5	
Rauduskoivu	450	6,4	6,4	400	6,7	5,5	
Hieskoivu	450	3,4	4,2	50	1,3	1,8	
	3850	6,3	5,2	3150	6,5	4,9	

Taulukko 2. Puustotunnuksia mänty- ja kuusikoealoilta saneerausharvennuksen jälkeen Tervolan Peuranpalon Kaitaharjussa syksyllä 2006. Kaikki rinnankorkeuden ylittäneet puut yhden aarin ympyräkoevalta (säde 5,64 m) on laskettu mukaan.

Puulaji	Mäntykoevalat			Kuusikoealat		
	kpl/ha	d1.3, cm	Pituus, m	kpl/ha	d1.3, cm	Pituus, m
Mänty	600	11,2	7,7	100	7,4	6,8
Kuusi	1250	3,7	3,4	600	3,6	3,5
Rauduskoivu	300	8,6	8,1	100	4,1	3,9
Hieskoivu	250	2,5	3,3	0	0	0
	2400	6,1	5,1	800	4,1	4,0

Metsikön terveydentilan seuraamiseksi metsikköön perustettiin syksyllä 2005 neljä koevalaa. Koealoista kahdella toimittiin männyn (mäntykoevalat) ja kahdella kuusen (kuusikoealat) hyväksi. Mäntykoealoilta poistettiin kaikki tervasrosaiset männyt, jos niissä oli yksikin näkyvä tervasrosotartunta oksassa tai rungossa. Kuusikoealoilta poistettiin lähes kaikki männyt, myös oireettomia yksilöitä. Kaikille koealoille jätettiin kasvatuskelpoisia koivuja. Mäntykoealoille jätettiin kasvatuskelpoisia kuusia täydentämään niin, että mäntykoealojen havupuutiheydeksi jäi peräti 1850 kpl/ha (taulukko 2). Kuusikoealoilla poistettiin myös kuusia varsin paljon, jolloin kuusen runkoluku putosi 600 kpl/ha:een. Keskiläpimitan ja -pituuden alentuessa kuusikoealojen puustoa voi pikemminkin pitää varttuneena taimikkona kuin nuorena kasvatusmetsänä.

Alue harvennettiin miestyönä, jotta kaikki tervasrosaiset puut voitiin poistaa mahdollisimman tarkkaan ja säästää kaikki oireettomat männyt. Tässä tutkimuksessa poistettiin siis kaikki männyt, joissa oli yksikin näkyvä tervasrosotartunta. Koealojen inventointien tarkoituksena oli seurata metsien kehitystä ennen käsittelyä ja sen jälkeen sekä kerätä havaintoja tervasrosoisuudesta syksyllä 2005, 2006 ja 2009. – Koko Peuranpalon alue harvennettiin marraskuussa 2005.

Kuudestakymmenestä mäntykoeapuusta yli puolella (31 kpl, 51,7 %) esiintyi tervasrosaa. Näistä 14:llä (45,2 %) koro oli rungossa ja muilla vain oksassa/oksissa. Neljällä runkokoroisella männylä ei havaittu yhtään oksatartuntaa. Siten valtaosalla runkokoroisista männystä oli tartunta myös latvuksessa. Tervasrosaisissa puissa oksatartuntoja oli 0–8 kpl puuta kohti, tavallisin määrä oli 2–4 kpl. Kahdessa puussa oli 8 oksatartuntaa. Oksatartuntojen, joita Kaitera (2002) on havainnut jopa 19 yhdessä latvuksessa, runsaus on tyypillistä aggressiiviselle tervasrosolle. Tervasroson arvioitiin heikentäneen lähtöpuuston puiden tilaa merkittävästi 42 %:lla sairaista puista.

Hakkuun ja yhden kasvukauden jälkeen syksyllä 2006 koealoilla oli jäljellä 14 mäntykoeapuuta, joista yhdellä (7,1 %) tervasroso oli puhjennut oksassa. Syksyllä 2009 tervasrosaa esiintyi kahdessa männysä (14,3 %): yhdellä puulla tartunta oli puhjennut runkoon ja toisella oli kaksi liputavaa oksaa.

Pohdintaa Peuranpalon harvennuskokeen perusteella

Peuranpalo on ollut merkittävä aggressiivisen tervasrosan esiintymä niin pinta-alaltaan kuin tau-din määrän suhteen. Koetta perustettaessa metsikössä oli samalta seisomalta helppo havaita kymmeniä kuolemaansa odottavia runkotartuntaisia mäntyjä, mikä vahvistaa käsitystä yhtäältä näkyvän epidemian alkamisesta jo vuosia ennen seurannan alkua ja toisaalta epidemian vakavuudesta ja saneerauksen tai uudistamisen välttämättömyydestä. Neljän kasvukauden kuluttua käsittelystä valtaosa puista oli säilynyt terveinä, mikä tosin saattaa viitata tartuntojen vähentymiseen jo ennen hakkuuta. Toisaalta voidaan spekuloida ajatuksella, että harvennuksen aiheuttama kasvunlisäys

saattaa altistaa tervasrosolle. Jos näin olisi, metsikössä puhkeaisi merkittävä uusi epidemia näinä vuosina.

Saneeraukseen – tervasrosoisten puiden poistamiseen – Peuranpalon kaltainen metsikkö on so-piva kohde suuren runkoluvun ja keskipituuden puolesta (mäntyä 1500 kpl/ha, keskipituus 6,6 m), koska ankarastakin tautiepidemiasta huolimatta terveennäköisiä puita jää riittävästi kasvatet-tavaksi. Mäntyruuduilla saneeraus pudotti männyn runkoluvun vajaaseen kolmannekseen, mutta yhdessä pienemmän kuusen kanssa yksin havupuiden runkoluku säilyi korkealla tasolla (1850 kpl/ha). Sen sijaan kuusikoealojen puusto laskee saneerauksessa liian alas, juuri hyväksyttävän ra-jan kuitenkin saavuttaen. Kuusikoealojen runkoluvun alhaisuuden syyt jäivät selvittämättä; ilmei-sesti kuusia poistettiin suuresta lähtöjoukosta (1300 kpl/ha) yksinkertaisesti vain liikaa.

Koska metsikössä ei lähtötilanteessa ollut varsinaista aukkoisuutta ennen käsittelyä, saneerauksen männyn hyväksi ja kuusia jättäen voidaan katsoa onnistuneen oikein hyvin tervasrosoisen metsän käsittelykeinona. Luonnollisesti käsittelytarve tai -vaihtoehto riippuu aina mm. metsikön tiheydestä, tautitilanteesta, puulajisuhteista ja kasvupaikasta. Kun Peuranpalon maapohja on viljava ja alueella on kuusialikasvos, männytönkin kasvattaminen on mahdollista, vaikka koejärjestelyt hieman ontuivat kuusikoealojen suhteen. Viljava kasvupaikka on taannut niin männyn kuin kuu-senkin nopean elpymisen käsittelyn jälkeen. Alueen rauduskoivu on hirven pahoin runtelema kel-vaten siten vain vähäarvoiseksi sekapuuksi.

Kaitera (2000, 2002) on tutkinut tartuntapaikkojen sijaintia eri korkeuksilla latvusta ja todennut korollisten oksien keskittyvän ala- ja keskilatvukseen. Hyvällä kasvupaikalla ja tiheässä metsi-kössä kuten Peuranpalossa latvus voi supistua niin nopeasti, että tartunnasta itiöintiin kulvana 5–8 vuoden aikana (Kaitera 2000) oksat olisivat jo kuolemassa valon vähenemisen takia etenkin hyväkasvuissa metsikössä. Näin ollen pitäisi selvittää tervasrosoalttiin metsikön keskimääräis-tä tiheämpänä kasvattamisen vaikutuksia oksatartuntojen kehittymiseen keinona vähentää sienien itiöintiä. Tiheyden nostoa puoltaa havainto, että keskimääräistä kookkaammista tai aukean laidan männnyissä on enemmän oksatartuntoja (Kaitera 2002). Tämä tosin voi olla yhteydessä suurem-paan tartuntapinta-alaan – ja pitkäikäisempiinoksiin.

Peuranpalo on vain pieni koe, mutta erittäin suuri tuhoala. Vastaavanlaisessa, hieman nuoremmas-sa, Lammasuoman kylvötaimikon 10-ruutuisessa harvennuskokeessa männyn keskipituus oli hie-man Peuranpalon mäntyä pienempi, 5 m *versus* 6,6 m (Kaitera 2002). Lammasuomassa sairaiden puiden poisto taimituppaiden harvennuksen yhteydessä ei vähentänyt tai lisännyt tervasrosoisuut-ta viidessä vuodessa käsittelystä. Kaitera (2002) tosin tyytyi poistamaan osin vain itiöiviä oksia koko puun sijasta toisin kuin Peuranpalossa tehtiin, mikä toimenpide jätti alueelle jo alttiutensa osoittaneita puita.

Kun maaperässä on kasvupotentiaalia, metsikköä kannattaa kehittää perustamisen tuloksena syn-tyneen puuston avulla. Peuranpalossa jo puolella vuosikymmenessä saneerauksesta metsikkö näyttää olevan sulkeutumassa ja siten kehittyvän varsin suotuisasti. Avohakkuu olisi ollut huono vaihtoehto, koska männylle aluetta ei olisi enää kannattanut viljellä ja koska luontaisen kuusen tiheys oli varsin korkea. Männyn viljelyä alueelle, missä ympäröivät taimikot ja nuoret metsät sisältävät runsaasti tervasrosoa, kannattaa välttää nykyolosuhteissa. Vastaavasti vain yhden met-sikön saneerauksella voidaan vaikuttaa ympäröivän alueen tervasrosoisuuteen hyvin vähän, jos ollenkaan.

Nuoren metsän uudistamista kannattaa harkita silloin, kun tervasrosan takia alkaa olla aukkoisuutta ja kun uusia tartuntoja puhkeaa koko ajan ja kuoleminen suorastaan vie hakkuumahdollisuudet. Koko puusto voidaan myydä energiapuuksi ennen kuin se lahoaa liiaksi. – Tervasrosan, siis luonnontuhon takia kasvatuskelvottomaksi menneen puuston uudistamiseen on ainakin toistaiseksi (2012) mahdollista saada kestävän metsätalouden rahoituslain (kemera) mukaista valtion tukea tuhoutuneen alueen puuston kantoraha-arvosta riippumatta.

Männyn kasvuympäristön muutokset

Mänty näyttäisi olevan erityisen altis aggressiiviselle tervasrosolle ainakin kasvaessaan tuoreilla tai sitä paremmilla kasvupaikoilla, usein korkeilla, mahdollisesti puutteellisesti kulotetuilla entsillä kuusimailla. Usein esitetään, että tervasroso tartuttaa elinvoimaisia puita; sellaiseksi on tullut Kaiterankin (2002) tulos kookkaampien puiden suuremmasta alttiudesta. Mitä sitten on elinvoimaisuus? Jos se on yksinomaan parantunutta kasvua, alttiuden lisääntymiseen on monia selityksiä. Männyn kasvu on kiihtynyt viime aikojen lämpiminä kesinä. Myös männyn viljely 1980- ja 1990-luvuilla reheville, ns. kuusen maille, joissa maitikka on valoisuuden kasvun kautta yleistynyt, on osaltaan kiihdyttänyt kasvua. Samaan suuntaan ovat vaikuttaneet myös hiilidioksidin määrän voimakas kohoaminen ilmakehässä ja kasvupaikkojen jatkuva tuoreutumisen eli maapohjan tuottokyvyn parantuminen (Mattila 2006). Mainitut muutokset näyttäisivät olevan korostuneen merkittäviä juuri äärialueilla pohjoisessa kiihdyttämällä männyn erinomaisen nopeaan kasvuun, mikä näkyy mm. uusimmissa valtakunnan metsien inventointituloksista.

Kirjallisuus

- Heikkilä, R. 1981. Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa. *Folia Forestalia* 497. 22 s.
- Hantula, J., Niemi, M., Kaitera, J., Jalkanen, R. & Kurkela, T. 1998. Genetic variation of the resin-top fungus in Finland as determined by random amplified microsatellites (RAMS). *European Journal of Forest Research* 28(6): 361–372.
- Jalkanen, R. 1986. *Lophodermella sulcigena* on Scots pine in Finland. Seloste: Harmaakariste männyllä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 136. 41 s.
- 1988. Tervasroso — alati harvinaistuva nuotiopuu vai entistä suurempi metsien uhka? *Metsä ja Puu* 1988(5): 26–27.
- 1989. Lapin metsäpatologiset ongelmat. *Acta Lapponica Fenniae* 15: 32–47.
- 1993. Abiotic and biotic diseases of the northern boreal forests in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 451: 7–21.
- 2003. Havupuutaimikoiden tuhojen esiintyminen ja merkittävyys Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2003: 59–68.
- 2005a. Metsätuhot ja metsänuudistaminen. Teoksessa: Hyppönen, M., Hallikainen, V. & Jalkanen, R. (toim.). *Metsätaloutta kairoilla — Metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa*. Metsälehti Kustannus, Helsinki. s. 150–172.
- 2005b. Viljelytaimikoissa esiintyvät tuhot. Teoksessa: Varmola, M., Hyppönen, M. & Hokajärvi, P. (toim.). *Lapin metsien tulevaisuus*. Metsäntutkimuslaitos, Metsäkeskus Lappi, Metsähallitus, Lapin Metsänhoitajat ry. s. 78–83.
- 2005c. Tervasroso yleistynyt pohjoisen mäntytaimikoissa. *Metsälehti Makasiini* 21: 53.
- 2006. Pohjois-Suomen kuivalatvaiset männyt — merkki muuttuvasta ympäristöstä? *Metsälehti* 6: 18.
- 2009. Harmaakariste Inarin männiköiden kimpussa. *Inarilainen* 17: 22.
- 2011. Mitä tehdä aggressiivisen tervasrosan vaivaamalle taimikolle. *Metsään*. Metsäkeskusten tiedotuslehti. Syksy 2011. s. 14.
- & Nikula, A. 1993. Forest damage in northern Finland in 1992. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 451: 30–35.

- , Penttinen, H., Aalto, T., Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2003. Occurrence of *Melampsora pinatorqua*, *Peridermium pini* and *Cronartium flaccidum*, and *Chrysomyxa ledi* in young plantations in Lapland, Finland. In: Xu, M.-Q., Walla, J. & Zhao, W.-X. (eds.). Proceedings of the Second IUFRO Rusts of Forest Trees WP Conf., 19–23 Aug, 2002, Yangling, China. The Chinese Academy of Forestry. Forest Research 2003, 16 (Suppl.): 125–130.
- Kaitera, J. 2000. Analysis of *Cronartium flaccidum* lesion development on pole-stage Scots pines. *Silva Fennica* 34: 21–27.
- 2002. Short-term effect of thinning on *Pinus sylvestris* damage and sporulation caused by *Cronartium flaccidum*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 158–165.
- & Hantula, J. 1998. *Melampyrum sylvaticum*, a new alternate host for pine stem rust *Cronartium flaccidum*. *Mycologia* 90(6): 1028–1030.
- , Aalto, T. & Jalkanen, R. 1994. Effect of resin-top disease caused by *Peridermium pini* on the volume and value of *Pinus sylvestris* saw timber and pulpwood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(4): 376–381.
- , Seitämäki, L., Hantula, J., Jalkanen, R. & Kurkela, T. 1999. Inoculation of known and potential alternate hosts with *Peridermium pini* and *Cronartium flaccidum* aeciospores. *Mycological Research* 103: 235–241.
- Mattila, E. 2006. Porojen talvilaitumien kunto poronhoitoalueen etelä- ja keskiosien merkkipireissä 2002–2004 ja kehitys 1970-luvun puolivälistä alkaen. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 27. 76 s.
- Mäkitalo, K., Penttilä, T. & Räsänen, P. 1998. Poron ja jäniksen vaikutus hieskoivun luontaiseen uudistumiseen tuoreilla kankailla Etelä- ja Keski-Lapissa. Julkaisussa: Hyppönen, M., Penttilä, T. & Poikajärvi, H. (toim.). Poron vaikutus metsä- ja tunturiluontoon. Tutkimusseminaari Hetassa 1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 678: 109–121.
- Nikula, A. 1993. Animals as forest pests in Finnish Lapland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 451: 22–29.
- Penttinen, H., Jalkanen, R., Aalto, T., Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2002. Taimikkotuhot Lapin lain kohteilla. In: Hyppönen, M., Jortikka, S. & Tapaninen, S. (eds.). Metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 876: 39–49.

Metsätalouden ja porotalouden vaikutukset maajäkälien määrään

Anu Akujärvi, Ville Hallikainen, Mikko Hyppönen ja Eero Mattila

Johdanto

Poronjäkäliät (*Cladonia* sp.) ovat poron tärkeintä ja halutuinta talviravintoa (Mattila 1981). Talviravinnon määrä ja saatavuus ovat poronhoidon minimitekijät (Mattila 1981, 2006 a, Mattila ja Helle 1978). Suomessa on tehty useita porolaidunten inventointeja 1970-luvun lopusta alkaen osana Valtakunnan metsien inventointia (Mattila 1981, 1988, 1996, 2006 a, b). Inventoinneissa on havaittu, että maajäkäliden määrä on romahtanut viimeisten 30 vuoden aikana Suomen poronhoitoalueen etelä- ja keskiosassa sekä Inarissa (Mattila 2006a, b). Toistaiseksi ei ole pystytty kiistattomasti osoittamaan, miten eri elinkeinot, kuten porotalous, metsätalous ja matkailu, vaikuttavat ravintokasvien määrään. Erityisesti maajäkäliden vähenemisen syistä on kiistelty (Saarela 2003, Raitio ja Rytteri 2005).

Maajäkäliden vähenemisen syyt voivat olla erilaisia eri puolilla poronhoitoaluetta. Kainuussa poronhoitoalueen etelärajalla tehdyn vertailututkimuksen mukaan poronjäkäliäbiomassa oli laiduntamattomalla alueella moninkertainen laidunnettuun alueeseen verrattuna. Metsän kehitysluokalla ei ollut vaikutusta tulokseen. Laidunnus oli siten ollut suurin syy poronjäkäliä vähenemiseen (Mattila 2004). Tähän asti kattavia laiduninventointeja on tehty vain poronhoitoalueen sisällä, jossa poronhoitoa ja metsätaloutta harjoitetaan rinnan (esim. Mattila 2006 a, b). Näin ei ole voitu erottaa toisistaan laidunnuksen ja metsätalouden vaikutuksia maajäkäliden määrään.

Maajäkäliden määrään vaikuttavat luontaiset tekijät, poron laidunnus sekä metsätalous. Luontaisesti maajäkälää esiintyy boreaalisen ja arktisen vyöhykkeen valoisissa ja harvapuustoisissa metsissä, joissa on kuiva, hyvin vettä läpäisevä maaperä. Maajäkäliden esiintymisrunsas kasvaa etelästä pohjoiseen (Ahti ja Oksanen 1990). Poron laidunnuspaine vaikuttaa kasvillisuuden määrään ja koostumukseen. Maajäkäliden biomassa vähenee sitä voimakkaammin, mitä suurempi laidunnuspaine on. Laidunnetulle alueelle kasvaa yleensä sammalia ja pienikokoisia jäkäliä maajäkäliden tilalle (Helle ja Aspi 1983, Väre ym. 1995, den Herder ym. 2003).

Metsätalous vaikuttaa maajäkäliden määrään yhtäältä poron laitumen valinnan ja toisaalta ravinnon määrän kautta (Hallikainen ym. 2008). Kasvipeitteen osittainen tuhoutuminen metsänuudistamisessa vähentää jäkäliä metsänkäsittelyn voimakkuudesta riippuen (Roturier ja Bergsten 2006). Metsätalous myös muokkaa puuston rakennetta ja maajäkäliden kasvuolosuhteita (Berg ym. 2008). Lumipeite on ravinnon saatavuuteen voimakkaasti vaikuttava tekijä (Kumpula ja Colpaert 2007). Kevättalvella porot hakeutuvat alaville metsäisille maille, joissa on pehmein lumipeite. Näillä alueilla on myös parhaat olosuhteet puun kasvulle (Kumpula ja Colpaert 2007), mikä voi aiheuttaa ristiriitoja porotalouden ja metsätalouden välille. Avohakkuut kovettavat lumen pinnan, mikä vaikeuttaa jäkälien kaivamista lumen alta (Helle ja Jaakkola 2008).

Porojen on havaittu hakeutuvan laiduntamaan mieluiten vanhoihin metsiin (Helle ym. 1990, Kumpula ym. 2007). Taimikoissa ja nuorissa metsissä on huono näkyvyys eli niiden karttaminen on todennäköisesti petosopeutuma (Helle ym. 1990). Porot siirtyvät kuitenkin laiduntamaan myös nuorempiin metsiin ravinnon vähentyessä vanhoista metsistä (Kumpula ym. 2007). Yleensä porot karttavat uudistusalueita, koska siellä hakkuutähteet ja mahdollinen maanmuokkaus vaikeuttavat liikkumista ja ravinnon kaivamista lumen alta (Helle ym. 1990, Roturier ja Bergsten 2006).

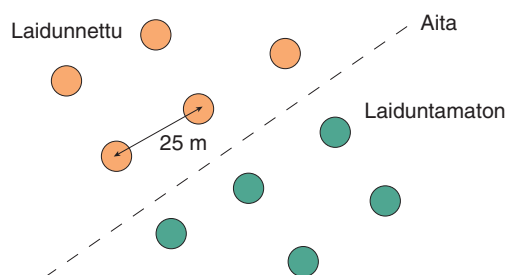
Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa lisätietoa laidunnuksen ja metsätalouden erillis- ja yhdysvaikutuksista maajäkälkien peittävytyteen ja biomassaan poron talvilaitumilla. Saatua tietoa voidaan käyttää apuna suunniteltaessa metsien käyttöä poronhoitoalueella. Tulokset ovat alustavia ja perustuvat Akujärven (2011) opinnäytetyöhön.

Aineisto ja menetelmä

Aineisto kerättiin Lapissa kesän 2009 aikana Kuusamosta Inariin ulottuvalta alueelta. Tutkimusmetsiköt sijaitsivat Suomen ja Venäjän välisellä aidatulla rajavyöhykkeellä ja erilaisilla aidatuilla alueilla Lapissa. Aitaamattomien ja aidattujen alueiden metsiköt muodostivat maisemaltaan yhtenäiset vastinparit. Alueiden perusjoukko muodostettiin kaikista tiedossa olevista, aitauksen vuoksi laiduntamattomana olevista metsiköistä ja vastaavista maisemaltaan yhtenäisistä, laidunnetuista metsiköistä aitausten välittömässä läheisyydessä niiden ulkopuolella. Alueet valittiin niin, että ne olivat toisistaan riippumattomia.

Jokaiseen metsikköön sijoitettiin viisi halkaisijaltaan 25 metrin ympyräkoelaa (kuva 1). Ympyräkoeloilta määritettiin puusto- ja laiduntunnukset. Laiduntunnusten arvioinnissa noudatettiin erillistä VMI:n porolaiduninventointiin perustuvaa ohjetta (Valtakunnan metsien...2009). Tärkeimmät arvioitavat laiduntunnukset olivat maajäkälkien, metsälauhan ja sammalten peittävyys sekä poronjäkälien lajikoostumus. Laidunnuspainetta arvioitiin laskemalla poron papanakasojen määrä koeloilta. Poronjäkälien biomassat laskettiin peittävyys- ja pituusarvioiden perusteella käyttäen lajikohtaisia funktioita (esim. Mattila 1981).

Jäkälkien peittävyttä ja biomassaa mallinnettiin lineaarisella sekamallilla. Malleissa selittävinä muuttujina testattiin laidunnusta ja metsikön kehitysluokkaa sekä puuston varjostusta, poron laidunnuspainetta ja tärkeimmiksi arvioituja ympäristötekijöitä. Puuston varjostusta kuvaava muuttuja oli latvuspeittävyuden ja runkoluvun tulo. Ympäristömuuttujista testattiin korkeutta merenpinnasta sekä lämpösummaa.



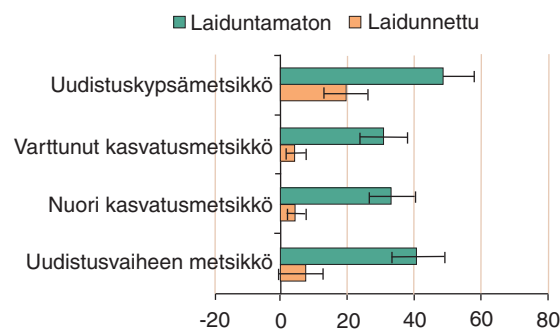
Kuva 1. Koeasetelma. Viisi koelaa (halkaisija 25 m) sijoitettiin aidan molemmille puolille. Koeloilta mitattiin metsikkötunnukset sekä arvioitiin kasvillisuuden peittävyystunnukset.

Tulokset ja tarkastelu

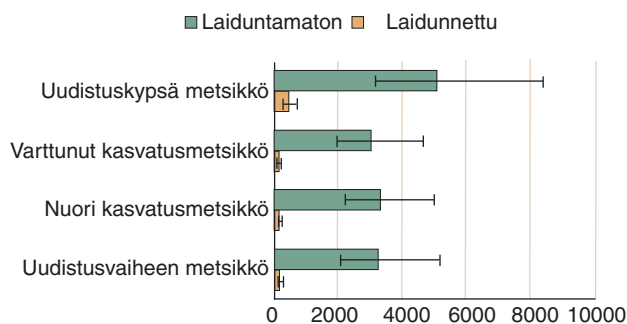
Alustavien tulosten mukaan poron laidunnus ja metsikön kehitysluokka olivat merkitsevimmät selittävät muuttujat maajäkäliden peittävyysmallissa. Mallilla ennustettu maajäkäliden peittävyys laidunnetuilla alueilla oli 7 % ja laiduntamattomilla alueilla 38 %. Laidunnuksen ja metsikön kehitysluokan yhdysvaikutus oli merkitsevä selittäjä lähes 95 % todennäköisyydellä. Sekä laidunnetuilla että laiduntamattomilla alueilla maajäkäliden peittävyys oli uudistuskypsissä metsiköissä suurempi kuin nuorissa ja varttuneissa kasvatusmetsiköissä. Laiduntamattomilla alueilla uudistusvaiheen metsiköiden ja uudistuskypsien metsiköiden jäkäläpeittävyys ei kuitenkaan merkitsevästi eronnut toisistaan (kuva 2).

Alustavien tulosten mukaan poron laidunnus ja lämpösomma (d.d.) olivat merkitsevimmät selittävät muuttujat maajäkäliden biomassamallissa. Mallilla ennustettu maajäkäliden biomassa oli laidunnetuilla alueilla 190 kg ha⁻¹ ja laiduntamattomilla alueilla 3 600 kg ha⁻¹. Metsikön kehitysluokka sekä laidunnuksen ja kehitysluokan yhdysvaikutus olivat myös merkitseviä selittäviä muuttujia. Laidunnetuilla alueilla jäkäläbiomassa oli merkitsevästi suurempi uudistuskypsissä metsiköissä kuin uudistusvaiheen metsiköissä ja kasvatusmetsiköissä. Laiduntamattomilla alueilla maajäkäliden biomassa oli uudistuskypsissä metsiköissä merkitsevästi suurempi kuin varttuneissa kasvatusmetsiköissä. Maajäkäliden biomassassa ei sen sijaan ollut tilastollisesti merkitseviä eroja laiduntamattomien uudistusvaiheen metsiköiden, nuorten kasvatusmetsiköiden ja varttuneiden kasvatusmetsiköiden välillä (kuva 3).

Tutkimuksen tulokset eri ympäristötekijöiden vaikutuksista maajäkäliden määrään sopivat yhteen aikaisemman tiedon kanssa (Ahti ja Oksanen 1990). Maajäkäliden määrä väheni, kun puuston var-



Kuva 2. Ennustettu maajäkäliden peittävyys (%) ja 95 % luottamusväli laidunnetuilla ja laiduntamattomilla alueilla.



Kuva 3. Ennustettu maajäkäliden biomassa (kg/ha) ja 95 % luottamusväli laidunnetuilla ja laiduntamattomilla alueilla.

jostus ja lämpösumma kasvoivat. Lisäksi maajäkäliden määrä oli lajittuneilla mailla suurempi kuin moreenimailla. Laidunnus vaikutti voimakkaasti maajäkäliden peittävyteen ja biomassaan. Poron talvilaitumet olivat aineistossa voimakkaasti kuluneita maajäkäliden peittävyden ja biomassan perusteella, mikä vastaa aikaisemmista porolaidunten inventoinneista saatua tietoa talvilaidunten tilasta (Mattila 2006a, b).

Tässä työssä ei voitu tarkastella metsänuudistamisen välittömiä vaikutuksia maajäkäliden määrään, koska alueille ei juuri ollut jätetty hakkuutähteitä tai tehty maanpinnan käsittelyä. Aineiston analyysissä tuli tärkeäksi tarkastella laidunnuksen ja metsikön kehitysluokan yhdysvaikutusta maajäkäliden määrään. Uudistuskypsissä metsiköissä maajäkäliden määrä oli suurempi kuin uudistusvaiheen metsiköissä ja kasvatusmetsiköissä. Laidunnetuilla alueilla uudistuskypsien metsiköiden jäkälämäärä erosi nuorempien kehitysluokkien jäkälämäärästä jyrkemmin kuin laiduntamattomilla alueilla. Toisin sanoen laidunnuksen ja kehitysluokan yhdysvaikutus maajäkäliden määrään oli voimakkaampi kuin päävaikutukset. Tuloksista päätellään, että uudistuskypsien metsiköiden hakkaaminen heikentäisi laidunten tilaa entisestään.

Laidunten kuntoa tulisi parantaa kokonaisvaltaisesti sekä metsätalouden että poronhoidon osalta. Tutkimuksen perusteella metsätaloudessa tulisi pitää huolta maajäkäliden riittävästä valonsaannista ja suosia mahdollisimman pitkiä kiertoaikoja. Metsien poistaminen metsätalouskäytöstä ei yksin paranna laidunten tilaa, koska laitumet olivat hitaasti uudistuvia myös uudistuskypsissä metsiköissä. Poromäärien säätely ja toimivien laidunkiertojärjestelmien kehittäminen ovatkin avainasemassa laidunten tilan parantamisessa.

Kirjallisuus

- Ahti, T. & Oksanen, J. 1990. Epigeic lichen communities of taiga and tundra regions. *Vegetatio* 86: 39–70.
- Akujärvi, A. 2011. Poron laidunnuksen ja metsätalouden vaikutukset maajäkäliden peittävyteen ja biomassaan poron talvilaitumilla. Pro gradu –työ. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 67 s.
- Berg, A., Östlund, L., Moen, J. & Olofson, J. 2008. A century of logging and forestry in a reindeer herding area in Northern Sweden. *Forest Ecology and Management* 256: 1009–1020.
- Hallikainen, V., Helle, T., Hyppönen, M., Ikonen, A., Jokinen, M., Naskali, A., Tuulentie, S. & Varmola, M. 2008. Luonnon käyttöön perustuvat elinkeinot ja niiden väliset suhteet Ylä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2008: 191–219.
- Helle, T. & Aspi, J. 1983. Effects of winter grazing by reindeer on vegetation. *Oikos* 40: 337–343.
- & Jaakkola, L. 2008. Transitions in herd management of semi-domesticated reindeer in northern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 45: 81–101.
- , Aspi, J. ja Kilpelä, S.-S. 1990. The effects of stand characteristics on reindeer lichens and range use by semi-domesticated reindeer. *Rangifer Special Issue* 3: 107–114.
- den Herder, M., Kytöviita, M.-M. & Niemelä, P. 2003. Growth of reindeer lichens and effects of reindeer grazing on ground cover vegetation in a Scots pine forest and a subarctic heathland in Finnish Lapland. *Ecography* 26: 3–12.
- Kumpula, J. & Colpaert, A. 2007. Snow conditions and usability value of pastureland for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in northern boreal forest area. *Rangifer* 27: 25–39.
- , Colpaert, A. & Anttonen, M. 2007. Does forest harvesting and linear infrastructure change the usability value of pastureland for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*). *Annales Zoologici Fennici* 44: 161–178.

- Mattila, E. 1981. Survey of reindeer winter ranges as a part of the Finnish National Forest Inventory in 1976-1978. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(6): 1–74.
- 1988. Suomen poronhoitoalueen talvilaitumet. *Folia Forestalia* 713. 53 s.
 - 1996. Porojen talvilaitumet Suomen poronhoitoalueen etelä- ja keskiosissa 1990-luvun alussa. *Folia Forestalia* 1996 (4): 337–357.
 - 2004. Porojen eräiden ravintokasvien esiintyminen poronhoitoalueella Kainuun merkkipiirissä ja poronhoitoalueen ulkopuolisella alueella Kainuussa 2002–2003 – vertaileva tutkimus aluetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 930. 42 s.
 - 2006 a. Porojen talvilaitumien kunto poronhoitoalueen etelä- ja keskiosien merkkipiireissä 2002-2004 ja kehitys 1970-luvun puolivälistä alkaen. *Metlan työraportteja* 27. 76 s.
 - 2006 b. Porojen talvilaitumien kunto Ylä-Lapin paliskunnissa vuonna 2004. *Metlan työraportteja* 28. 54 s.
 - & Helle, T. 1978. Keskisen poronhoitoalueen talvilaidunten inventointi. *Folia Forestalia* 358: 1–31.
- Saarela, P. 2003. Selvitys Ylä-Lapin metsä- ja porotalouden yhteensovittamisesta. Työryhmämuistio MMM 2003: 15. 55 s. + liitteet.
- Raitio, K. & Rytteri, T. 2005. Metsähallituksen ja valtio-omistajan vastuu Ylä-Lapin porotalouden ja metsätalouden välisessä kiistassa. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 117–137.
- Roturier, S. & Bergsten, U. 2006. Influence of soil scarification on reindeer foraging and damage to planted *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 209–220.
- Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11). 2009. Maastotyön ohjeet 2009. Koko Suomi. 2. painos. Metsäntutkimuslaitos. Vantaa. 179 s.
- Väre, H., Ohtonen, R. & Oksanen, J. 1995. Effects of reindeer grazing on understory vegetation in dry *Pinus sylvestris* forests. *Journal of Vegetation Sciences* 6: 523–530.

Hankkeiden 3482 ja 7319 tuottamat julkaisut

- Ahtikoski, A. 2009. Vaihtoehtoisten metsänuudistamisketjujen kustannustehokkuus Pohjois-Suomessa. *Taimiuutiset* 4: 9.
- , Alenius, V. & Mäkitalo, K. 2010. Scots pine stand establishment with special emphasis on uncertainty and cost-effectiveness, the case of northern Finland. *New Forests* 40(1): 69–84.
- , Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Uutela, M. 2007. Regeneration methods for economic forest production – Excursion and meeting in Norrbotten, Sweden, October 11–12, 2007. Travel report. 7 s.
- Akujärvi, A. 2011. Poron laidunnuksen ja metsätalouden vaikutukset maajäkälien peittävyYTEEN ja biomassaan poron talvilaitumilla. *Metsäekologian pro gradu -tutkielma maatalous- ja metsätieteiden maisterin tutkintoa varten*. Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos. 67 s.
- 2011. Poronhoidon ja metsätalouden vaikutukset maajäkäliden määrään. Julkaisussa: Poropäivät 2011, Kaamanen 28.–29.4. Kooste Poropäivien esitelmätiivistelmistä ja tauluesitykset. s. 7–8.
- 2010. Separate effects of reindeer pasturing and forestry on the lichen biomass. Julkaisussa: Hyppönen, M. & Tapaninen, S. (toim.). Sustainable forest management in northern Fennoscandia (NORFOR). Seminar on forest regeneration and management in Salla, Finland, 29–30 September, 2009. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 154: 18–19.
- , Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Mattila, E. 2011. The effects of forestry and reindeer grazing on the coverage and biomass of ground lichens. Julkaisussa: Granhus, A., Hanssen, K.H. & Soogard, G. (toim.). Forest management and silviculture in the north – balancing future need. Book of abstracts for the conference in Stjordal, Norway, September 6-8, 2011. Rapport fra Skog og landskap 14: 10–11.
- Botella, L., Tuomivirta, T.T., Kaitera, J., Carrasco, V., Diez, J.J. & Hantula, J. 2010. Spanish population of Gremmeniella abietina is genetically unique but related to type A in Europe. *Fungal Biology* 114(9): 778–789.
- Fedorkov, A., Kaitera, J. & Jalkanen, R. 2007. Condition and growth of Scots pine seedlings under strong and weak pollution in Kola Peninsula. *Baltic Forestry* 13(2): 179–183.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M. & Lappalainen, M. 2011. Poron laidunnuksen männyn luontaiseen uudistumiseen Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Poropäivät 2011, Kaamanen 28.–29.4. Kooste Poropäivien esitelmätiivistelmistä ja tauluesitykset. s. 7.
- , Hyppönen, M., Hyvönen, J. & Niemelä, J. 2010. *Pinus sylvestris* near the timberline in North-East Finnish Lapland. Julkaisussa: Hyppönen, M. & Tapaninen, S. (toim.). Sustainable forest management in northern Fennoscandia (NORFOR). Seminar on forest regeneration and management in Salla, Finland, 29–30 September, 2009. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 154: 16–17.
- , Hyppönen, M., Pernu, L. & Puoskari, J. 2010. Family forest owners' opinions about forest management in northern Finland. *Silva Fennica* 44(2): 363–384.
- , Hyppönen, M., Pernu, L. & Puoskari, J. 2010. Yksityismetsänomistajien mielipiteet metsänkäsittelystä Pohjois-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2010: 336–338.
- Helama, S., Salminen, H., Timonen, M. & Varmola, M. 2008. Dendroclimatological analysis of seeded and thinned Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands at the coniferous timberline. *New Forests* 35(3): 267–284.
- Hilli, A. 2009. The effect of crop quality and pre-treatment on germination in Scots pine and Norway spruce seeds. *Acta Universitatis Ouluensis. Series A, Scientiae rerum naturalium* 520. 49 s. + 4 osajulkaisua.
- , Hokkanen, T., Hyvönen, J. & Sutinen, M.-L. 2008. Long-term variation in Scots pine seed crop size and quality in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23(5): 395–403.
- Hyppönen, M. 2009. Kuulumisia pohjoisesta. *Taimiuutiset* 4: 3.
- 2012. Metsänhoito Pohjois-Suomessa 1900-luvulta 2000-luvulle. Julkaisussa: Jääskeläinen, M., Seppälä, M. & Virkkunen, M. (toim.). Metsäalan kehitys vuosina 1972–2012 metsänhoitajien näkökulmasta arvioituna. Sepsilva Ltd Oy, s. 43–48.
- 2008. Metsät ja porotalous. Julkaisussa: Rantala, S. (toim.). Tapion taskukirja. 25. uudistettu painos. Metsäkustannus, Helsinki. s. 256–258.

- 2011. Metsätalous poronhoitoalueella. Julkaisussa: Poropäivät 2011, Kaamanen 28.–29.4. Kooste Poropäivien esitelmätiivistelmistä ja tauluesitykset. s. 5–6.
 - 2008. Pohjois-Suomen metsänhoidon erityispiirteet. Julkaisussa: Rantala, S. (toim.). Tapion taskukirja. 25. uudistettu painos. Metsäkustannus, Helsinki. s. 97–99.
 - 2011. Sustainable use of forests in Finnish Upper Lapland. Julkaisussa: Granhus, A., Hanssen, K.H. & Soogard, G. (toim.). Forest management and silviculture in the north – balancing future need. Book of abstracts for the conference in Stjordal, Norway, September 6–8, 2011. Rapport fra Skog og landskap 14: 25–26.
 - & Hallikainen, V. 2011. Factors affecting the success of autumn direct seeding of *Pinus sylvestris* L. in Finnish Lapland. Scandinavian Journal of Forest Research 26(6): 515–529.
 - & Hallikainen, V. 2012. Männyn kylvö myöhään syksyllä onnistuu Lapissa. Taimiuutiset 2: 31.
 - & Hallikainen, V. 2008. Sustainability of forestry in Finnish Lapland. Julkaisussa: Joint Finnish-Japanese Seminar on Northern Environmental Research, Rovaniemi, Finland 3.–5.9.2008. s. 15.
 - & Tapaninen, S. (toim.) 2010. Sustainable forest management in northern Fennoscandia (NORFOR). Seminar on forest regeneration and management in Salla, Finland, 29–30 September, 2009. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 154. 30 s.
 - , Hallikainen, V. & Wennström, U. 2010. The success of autumn direct seeding of *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. Julkaisussa: Hyppönen, M. & Tapaninen, S. (toim.). Sustainable forest management in northern Fennoscandia (NORFOR). Seminar on forest regeneration and management in Salla, Finland, 29–30 September, 2009. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 154: 21–23.
 - , Heikkinen, H. & Hallikainen, V. 2008. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen ja taimikon alkukehitykseen Etelä-Lapissa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2008: 269–279.
 - , Keränen, K. & Turtiainen, M. 2010. Metsätaimituotannon vaiheita alueittain. Pohjois-Suomi. Julkaisussa: Tasanen, T. (toim.). Siemenestä taimeksi. Metsäpuiden taimituotannon historia Suomessa. Metsäpuiden taimituotannon historiatoimikunta 2010: 214–228.
 - , Varmola, M., Mikkola, K. & Jalkanen, R. 2012. Metsien uudistuminen suojametsäalueella ja Pohjois-Suomen korkeilla mailla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2012: 195–203.
- Jortikka, S. & Kaïtera, J. 2011. Tutkimusuutisia Metlasta. Kuusen käpyruosteiden torjunta on vaikeaa niiden monimutkaisten elinkiertojen vuoksi. Eteläeurooppalainen surmakkasieni poikkeaa suuresti Suomessa esiintyvistä surmakkatyypeistä. (Metsäntutkimus-osio). Metsäikkuna – Pohjois-Pohjanmaan metsäalan toimijoiden ja metsänomistajien yhteinen julkaisu 2: 14.
- Kaïtera, J. 2008. Katsaus metsäpatologiseen tutkimukseen. Julkaisussa: Piironen, M.-L., Murtovaara, I., Kotikangas-Venäläinen, S. & Wallin, E. (toim.). Muhoksen toimintayksikkö. Vuosikertomus 2007. Metla, s. 15–18.
- Kasatkina, E., Shumilov, O., Sutinen, M.-L., Charmov, A., Enykeev, A. & Novikova, T. 2011. Search for solar and lunar rhythms in suicides in European Arctic (Northwest of Russia and Finnish Lapland). Julkaisussa: Towards a Deeper Physical Understanding of State and Evolution of Solid Earth, April 2011, Vienna, Austria. Abstracts. s. 1630.
- Kauhanen, H. 2010. Effects of windthrow disturbance on forest – a northern perspective. Julkaisussa: Adaptation of trees and stands to forest disturbances: management considerations. International Scientific Conference, October 18–21, 2010, Riga, Latvia. Book of abstracts. Latvia State Forest Research Institute, Riga. s. 8.
- 2010. Metsänraja tutkimuskohteena. Elämä on ulkona; outa.fi – yhteinen retkeilylehti 2/2010. 2 s.
 - 2011. Seedling establishment in uprooting pits of northern boreal pine forest in Finnish Lapland. Julkaisussa: Boreal forests in a changing world: challenges and needs for actions. Proceedings of the international conference, August 15–21, 2011, Krasnoyarsk, Russia. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk. s. 322.
 - 2011. Pit and mound microrelief as substrate for seedling establishment. Julkaisussa: Evdokimova G.A. & Vandysh O.I. (toim.). Ecological functions of forest soils in natural and damaged landscapes in memoriam of prof. V.V.Nikonov. Materials of the 4th All-Russian scientific conference with international participation on forest pedology. INEP of Kola Science Center RAS, Apatity. s. 55.
 - , & Mikkola, K. 2011. Tunturi- ja hallamittarituhot Lapissa. Julkaisussa: Poropäivät 2011, Kaamanen

- 28.–29.4. Kooste Poropäivien esitelmätiivistelmistä ja tauluesitykset. s. 21–23.
- Kuoppamaa, M., Juntunen, V., Neuvonen, S., Timonen, M., Sutinen, M.-L., Helama, S. & Sutinen, R. 2010. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) has advanced 35 km since 1920's in Western Finnish Lapland. Julkaisussa: Mielikäinen, K., Mäkinen, H. & Timonen, M. (toim.). WorldDendro 2010, The 8th International Conference on Dendrochronology, June 13–18, 2010, Rovaniemi, Finland. Abstracts. Finnish Forest Research Institute, Tornio, Finland. s. 316.
- Lappalainen, M. 2010. Poron laidunnuksen vaikutus männyn luontaiseen uudistumiseen. AMK-päättötyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. 29 s.
- Martz, F., Turunen, M., Julkunen-Tiitto, R., Suokanerva, H. & Sutinen, M.-L. 2011. Different response of two reindeer forage plants to enhanced UV-B radiation: modification of the phenolic composition. *Polar Biology* 34: 411–420.
- Middleton, M., Närhi, P., Sutinen, M.-L., Timonen, M. & Sutinen, R. 2010. Altitudinal forest expansion through change detection of historical aerial photographs. Julkaisussa: Mielikäinen, K., Mäkinen, H. & Timonen, M. (toim.). WorldDendro 2010, The 8th International Conference on Dendrochronology, June 13–18, 2010, Rovaniemi, Finland. Abstracts. Finnish Forest Research Institute, Tornio, Finland. s. 318.
- Mäkitalo, K. 2009. Soil hydrological properties and conditions, site preparation, and the long-term performance of planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on upland forest sites in Finnish Lapland. *Dissertationes Forestales* 80. 71 p. + 6 osajulkaisua.
- & Heiskanen, J. 2010. Climate change and variation of air-filled porosity in boreal forest soils: A model approach. Julkaisussa: Parrotta, J. & Carr, M.A. (toim.). *Forests for the Future: Sustaining Society and the Environment*. XXIII IUFRO World Congress, 23–28 August 2010, Seoul, Republic of Korea. Abstracts. *International Forestry Review* 12(5): 20.
- , Alenius, V., Heiskanen, J. & Mikkola, K. 2010. Effect of soil physical properties on the long-term performance of planted Scots pine in Finnish Lapland. *Canadian Journal of Soil Science* 90(3): 451–465.
- Nikula, A., Hallikainen, V., Jalkanen, R., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2008. Modelling the factors predisposing Scots pine to moose damage in artificially regenerated sapling stands in Finnish Lapland. *Silva Fennica* 42(4): 587–603.
- Nikula, A., Hallikainen, V., Jalkanen, R., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2008. Pohjois-Suomen viljeltyjen mäntytaimikoiden hirvituhoriskiin vaikuttavien tekijöiden mallittaminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008: 319–320.
- Närhi, P., Middleton, M., Gustavsson, N., Hyvönen, E., Sutinen, M.-L. & Sutinen, R. 2011. Importance of soil calcium for composition of understory vegetation in boreal forests of Finnish Lapland. *Biogeochemistry* 102: 239–249.
- , Gustavsson, N., Piekkari, M., Timonen, M., Sutinen, M.-L., Mikkola, K. & Sutinen, R. 2011. Long-term effects of site preparation on soil quality at high elevation boreal forest. Julkaisussa: Granhus, A., Hansen, K.H. & Soogard, G. (toim.). *Forest management and silviculture in the north – balancing future need*. Book of abstracts for the conference in Stjordal, Norway, September 6–8, 2011. *Rapport fra Skog og landskap* 14: 33–34.
- Onkamo, P. 2012. Kulotuksen, maanmuokkauksen ja viljelymenetelmän vaikutus metsänuudistamiseen Sodankylässä. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelma. 51 s.
- Salokannel, S. 2011. Väljennyshakkuu männyn (*Pinus sylvestris*) luontaisessa uudistamisessa. *Metsäekologian pro gradu -tutkielma maatalous- ja metsätieteiden maisterin tutkintoa varten*. Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos. 76 s.
- Sutinen, R., Hänninen, P., Närhi, P. & Sutinen, M.-L. 2011. Root-zone temperature through 60.5 N–68.9 N in Finland. Julkaisussa: Roitto, M., Lehto, T., Sutinen, S., Finér, L. & Repo, T. (toim.). *ROOTS 2011 WORKSHOP*, Abstracts, Joensuu, Finland, 13–14 December 2011. *Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 214: 20.
- , Närhi, P., Herva, H., Piekkari, M. & Sutinen, M.-L. 2010. Impact of intensive forest management on soil quality and natural regeneration of Norway spruce. *Plant and Soil* 336: 421–431.
- , Närhi, P., Middleton, M., Hänninen, P., Timonen, M. & Sutinen, M.-L. 2010. Environmental drivers and spruce growth along elevation gradient in Finnish Lapland. Julkaisussa: Mielikäinen, K., Mäkinen, H. & Timonen, M. (toim.). WorldDendro 2010, The 8th International Conference on Dendrochronology,

- June 13–18, 2010, Rovaniemi, Finland. Abstracts. Finnish Forest Research Institute, Tornio, Finland. s. 153.
- , Närhi, P., Middleton, M., Piekkari, M., Herva, H., Keskitalo, I., Timonen, M. & Sutinen, M.-L. 2011. Soil chemistry contribute to alpine spruce treeline in Finnish Lapland. Julkaisussa: Granhus, A., Hansen, K.H. & Soogard, G. (toim.). Forest management and silviculture in the north – balancing future need. Book of abstracts for the conference in Stjordal, Norway, September 6–8, 2011. Rapport fra Skog og landskap 14: 42–43.
 - , Kuoppamaa, M., Hänninen, P., Middleton, M., Närhi, P., Vartiainen, S. & Sutinen, M.-L. 2011. Puulajien levinneisyys Lapin emäksisillä ja happamilla tuntureilla. Julkaisussa: Soinne, H., Kähkönen, M., Merilä, P., Rankinen, K., Salo, T. & Hänninen, P. (toim.). Mieli maassa – maa mielessä. VI Maaperätieteen päivien abstraktit. Pro Terra 52: 37–38.
 - , Kuoppamaa, M., Hänninen, P., Middleton, M., Närhi, P., Vartiainen, S. & Sutinen, M.-L. 2011. Tree species distribution on mafic and felsic fells in Finnish Lapland. Scandinavian Journal of Forest Research 26: 11–20.
 - , Närhi, P., Middleton, M., Kuoppamaa, M., Juntunen, V., Hyvönen, E., Hänninen, P., Teirilä, A., Päänttjä, M., Neuvonen, S., Äikää, O., Piekkari, M., Timonen, M. & Sutinen, M.-L. 2011. Geological controls on subarctic conifer distribution. Julkaisussa: Nenonen, K. & Nurmi, P.A. (toim.). Geoscience for Society, 125th Anniversary Volume. Geological Survey of Finland, Special Paper 49: 315–325.
- Tuomivirta, T.T., Kaitera, J. & Hantula, J. 2009. A novel putative virus of *Gremmeniella abietina* type B (*Ascomycota: Helotiaceae*) has a composite genome with endornavirus affinities. Journal of General Virology 90(9): 2299–2305.
- Turunen, M., Vuojala-Magga, T., Sutinen, M.-L. & Markkula, I. 2010. Poron ravinto ja lisäruokinta muuttuvassa ilmastossa. Poromies 5: 29–30.
- , Oksanen, P., Markkula, I., Vuojala-Magga, T., Sutinen, M.-L., Maijala, J. & Tuomaala, R. 2010. Vegetation changes in reindeer winter corrals in Finnish Lapland. Porojen ruokinta-aitausten kasvillisuusmuutokset Suomen Lapissa. Rangifer 14: 110–111.
- Ylisirniö, A.-L., Penttilä, R., Berglund, H., Hallikainen, V., Isaeva, L., Kauhanen, H., Koivula, M. & Mikola, K. 2012. Dead wood and polypore diversity in natural post-fire succession forests and managed stands – Lessons for biodiversity management in boreal forests. Forest Ecology and Management 286: 16–27.