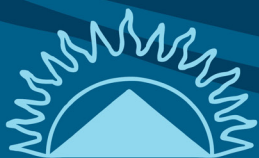


Kestävää metsätaloutta kairoilla

Pasi Rautio, Jaakko Repola, Hannu Salminen ja Heli Ilola (toim.)



Acta Lapponica Fenniae

Nro 29, 2020

Acta Lapponica Fenniae on Lapin tutkimusseuran julkaisema tieteellinen julkaisusarja, jota on julkaistu vuodesta 1962 lähtien. Vuodesta 2014 lähtien vertaisarvioidussa sarjassa julkaistaan Lappia koskevaa monitieteistä tutkimusta.

Julkaisija: Lapin tutkimusseura r.y.
Lapin maakuntakirjasto
Jorma Eton tie 6
96100 Rovaniemi
www.lapintutkimusseura.fi

Julkaisuvastaava: Heli Ilola

Päätoimittaja: Pasi Rautio
Toimituskunta: Tuija Hautala-Hirvioja, Markku Heikkilä, Markku Iljina,
Terho Liikamaa, Outi Rantala, Pasi Rautio, Leena Suopajärvi, Minna Turunen,
Seija Tuulentie ja Marja Uusitalo
Taitto ja ulkoasu: Heli Ilola



Rovaniemi 2020

ISSN 0457-1754

ISBN 978-951-9327-75-4 (PDF)

Kansikuva: © Ville Hallikainen

ACTA LAPPONICA FENNIAE 29



Lapin
tutkimusseura

www.lapintutkimusseura.fi

Kestävää metsätaloutta kairoilla

Toimittaneet

Pasi Rautio, Jaakko Repola, Hannu Salminen ja Heli Ilola

Lapin tutkimusseura
Acta Lapponica Fenniae
Rovaniemi 2020





Sisällys

Esipuhe

Pasi Rautio	7
-------------------	---

Artikkelit

 Ville Hallikainen, Hannu Hökkä, Mikko Hyppönen, Pasi Rautio ja Sauli Valkonen: Männyn luontainen uudistuminen pienaukkohakkuun jälkeen Lapissa	10
 Ville Hallikainen, Johanna Karjalainen, Mikko Johannes Kyrö, Mikko Hyppönen ja Pasi Rautio: Metsikön harventamisen ja maankäsittelyn vaikutus männiköiden luontaiseen uudistumiseen ja taimien kasvuun Lapissa	23

Näkökulmia

Yrjö Norokorpi: Nummettumishervät kangasmaat metsänuudistamisen haasteena Lapissa	39
---	----

Esipuhe

Pasi Rautio

Luonnonvarakeskus (Luke), Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi.

Maamme pinta-alasta 75 % on metsää. Tämä tekee Suomesta Euroopan metsäisimmän maan. Suomessa on metsää noin 23 miljoonaa hehtaaria eli noin 4 hehtaaria asukasta kohti. Metsää on niin paljon, että se pystyy tarjoamaan useita ekosysteemipalveluita, joita monissa eteläisemmän Euroopan maissa ei enää ole tarjolla. Metsän tuottamista puista saadaan rakennusmateriaalia, selluloosaa, paperia ja kartonkia. Muita metsän tarjoamia ekosysteemipalveluita ovat esimerkiksi marjat, sienet ja riistä. Metsien monet käyttömuodot korostuvat Lapissa, jossa metsät tarjoavat muun muassa ruokaa poroille ja maisemia turisteille. Ei siis ole mikään yllätys, että eritoten Lapissa on ilmennyt erimielisyyksiä metsien eri käyttömuotojen tärkeydestä.

Metsien keskeinen rooli yhteiskunnan monien materiaali- ja muiden tarpeiden täyttäjänä ei kuitenkaan ole mikään itsestäänselvyys. Metsien pitkäaikainen käyttö rakennusmateriaalina, polttopuuna, kaskena, tervanpoltossa jne. johti siihen, että viime vuosisadan alussa metsäisissä Pohjoismaissa heräsi huoli puuvarojen riittävydestä. Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa toteutettiinkin lähes samanaikaisesti 1920-luvulla ensimmäiset valtakunnalliset metsien inventoinnit (VMI). Nämä olivat laatuaan ensimmäiset koko maailmassa. Kun inventointi Suomessa toistettiin, sen tulokset lisäsivät huolta metsien puuvarannoista. Niinpä johtavat metsäntutkijat julkaisivat 1940-luvun lopussa ns. harsintajulkilausuman (Appelroth ym. 1948). Siinä ehdotettiin harsinnan eli tuolloin vallinneen hakkuutavan, jossa suurimmat puut poistetaan, kieltämistä metsille haitallisena.

On kuitenkin muistettava, että 1900-alun inventoinneissa havaittuun metsien kuntoon olivat vaikuttaneet yllä luetellut metsien erilaiset käyttömuodot, etenkin jopa tuhansia vuosia jatkunut kaskikulttuuri (Heikinheimo 1915) sekä 1700-luvulta asti vaikuttanut tervanpoltto (Kaila 1931). Toisaalta harsinnan vaikutukset suurimpien puiden vähenemiseen on todettu myös vertaamalla ensimmäisiä VMI-tuloksia viimeisimpiin (Henttonen ym. 2020). Joka tapauksessa harsinta päätettiin kieltää, ja vallitsevaksi menetelmäksi nousi metsänviljely, jossa metsä päätehakataan, tarvittaessa tehdään maankäsittely, ja uudistaminen tehdään joko istuttamalla tai kylvämällä. Metsänviljelyn lisäksi on käytetty metsän luontaista uudistamista, jossa päätehakkuussa jätetään siemenpuut uudistamaan hakattu ala luontaisilla siemenillä. Luontaista uudistamista on käytetty etenkin Lapissa, missä metsätalouden tuotto-odotukset ovat suhteellisen pienet ja metsänviljelyn uudistamiskustannuksia halutaan välttää.

Tämän päätehakkuuseen perustuvan ns. yksijaksoisen metsänviljelyn vaikutus Suomen puuntuotantoon on ollut valtava. Puuston poistuma (hakkuut ja luontainen kuoleminen) on noin sadassa vuodessa yli kaksinkertaistunut: 1920-luvun alussa se oli alle 40 milj. m³ ja vuonna 2018 noin 94 milj. m³. Tästä huolimatta myös puuston tilavuus on samaan aikaan miltei kaksinkertaistunut: 1920-luvulla se oli 1 385 milj. m³ (VMI1) ja vuonna 2018 2 475 m³ (VMI12). Tämä johtuu siitä, että puuston vuotuinen kasvu on onnistuttu lähes kaksinkertaistamaan (VMI1: 54.50 milj. m³/vuosi vs. VMI12: 107.82 milj. m³/vuosi) (Luke

2020). Vuosien 1971 ja 2010 välisenä aikana hieman yli 63 % kasvun lisäyksestä johtui tutkimuksen (Henttonen ym. 2017) mukaan metsänhoidosta ja 37 % ympäristön muutoksesta.

Metsänhoidolla on siis kiistattomasti saatu Suomen metsät kasvamaan enemmän puuta. Huoli muista metsien käyttömuodoista on kuitenkin kasvanut. Jo 1970-luvulla käytiin kiivaita kiistoja maankäsittelyn ja vesakonmyrkytyksen vaikutuksista muun muassa marjastukseen. Vaikka vesakonmyrkytyksistä on luovuttu ja maankäsittelyssä siirrytty auruksesta kevyempiin menetelmiin, kuten äestykseen ja laikutukseen, eivät kiistat metsien käytöstä ole kadonneet. Itse asiassa vanhojen kiistojen rinnalle on tullut uusia, kuten huoli biodiversiteetistä ja hiilen sidonnasta.

Ratkaisuna yllä mainittuihin – ja muihin – metsätalouden ja muiden käyttömuotojen yhteensovittamisen ongelmiin on tarjottu siirtymistä päätehakkuuseen perustuvasta yksijaksoisesta metsänkäsittelystä niin sanottuun jatkuvapeitteiseen metsätalouteen, josta käytetään myös nimityksiä eri-ikäisrakenteinen metsätalous tai metsän jatkuva kasvat. Julkisessa keskustelussa ei ole tosin aina selvää, millaisia metsänkäsittelymenetelmiä näillä termeillä tarkoitetaan, mutta yhteisenä piirteenä voidaan pitää sitä, että ei tehdä laaja-alaisia päätehakkuuta ja että uudistaminen perustuu metsänviljelyn sijasta luontaiseen uudistamiseen. Koska laaja-alaista päätehakkuuta ei tehdä, vaan maisema säilyy puustoisena hakkuun jälkeen, aluetta voitaisiin mahdollisesti käyttää esimerkiksi matkailuyritysten tarpeisiin myös hakkuun jälkeen. Koska jatkuvapeitteisessä metsätaloudessa ei (yleensä) tehdä myöskään maankäsittelyä, voitaisiin välttää konflikteja marjastajien ja poronomistajien kanssa. Näiden menetelmien on myös esitetty olevan taloudellisesti huomattavasti kannattavampia ja biodiversiteetin sekä hiilensidonnalla huomattavasti parempia kuin yksijaksoisen metsätalouden menetelmien.

Tieteellisiä näyttöjä edellä luetelluista jatkuvapeitteisen metsätalouden eduista päätehakkuuseen perustuvaan metsänkäsittelyyn verrattuna on kuitenkin vähän. Eri-ikäisrakenteisen metsätalouden vertailua päätehakkuuseen perustuviin menetelmiin on vaikeuttanut se, että etenkin Lapin männiköistä ovat puuttuneet vertailun edellyttämät koejärjestelyt. Tässä *Acta Lapponica Fenniae* numerossa tätä puutetta pyritään paikkaamaan. Ville Hallikainen, Hannu Hökkä, Mikko Hyppönen, Pasi Rautio ja Sauli Valkonen pohtivat ensimmäisessä artikkelissa Rovaniemellä sijaitsevan männyn pienaukkohakkuukokeen uudistumistulosten pohjalta, saavutetaanko erikokoisissa männiköiden pienaukoissa lain vaatima uudistamistulos. Toisessa artikkelissa Ville Hallikainen, Johanna Karjalainen, Mikko Johannes Kyrö, Mikko Hyppönen ja Pasi Rautio tutkivat, paljonko hakkuukypsää puustoa pitää poistaa, jotta Lapin männiköissä syntyisi luontaisesti riittävä määrä taimia. Yrjö Norokorpi puolestaan esittelee näkökulmia siihen, miten Itä-Lapin vaikeasti uudistettavat kangasmaat saataisiin uudistettua jatkuvan kasvatuksen menetelmillä.

Lähteet

Appelroth, E., Heikinheimo, O., Kalela, E. K., Laitakari, E., Lindfors, J. & Sarvas, R. 1948. Julkilausuma. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti*, 11, 315–316.

Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutukset Suomen metsiin. Keisarillisen Senaatin Kirjapaino. Helsinki. 264 s. + liitteet.

Henttonen, H. M., Nöjd, P. & Mäkinen, H. 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 – An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management*, 386, 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.044>

Henttonen, H. M., Nöjd, P., Suvanto, S., Heikkinen, J. & Mäkinen, H. 2020. Size-class structure of the forests of Finland during 1921–2013: a recovery from centuries of exploitation, guided by forest policies. *European Journal of Forest Research*, 139, 279–293. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01241-y>

Kaila, E. E. 1931. Tervanpolton leviäminen Suomessa 1700-luvun puolimaissa. *Silva Fennica*, 21, 1–38.

Luke 2020. Metsätilastot. <https://stat.luke.fi/metsa>

Männyn luontainen uudistuminen pienaukkohakkuun jälkeen Lapissa

Ville Hallikainen^{1*}, Hannu Hökkä², Mikko Hyppönen¹, Pasi Rautio¹ ja Sauli Valkonen³

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi.

²Luonnonvarakeskus (Luke), Paavo Havaksen tie 3, 90014 Oulun yliopisto.

³Luonnonvarakeskus (Luke), PL 2, 00791 Helsinki.

*Vastaava tutkija: Ville.Hallikainen@luke.fi



Tiivistelmä

Pienaukkohakkuu on saanut viime aikoina paljon huomiota mäntyjen luontaisen uudistamisen menetelmänä ja myös eri-ikäisrakenteisen ja peitteisen metsänhoidon menetelmänä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia mäntyjen luontaisen uudistamisen onnistumista erikokoisissa pienaukoissa mäntyvaltaisissa metsissä Keski-Lapissa. Koetta varten hakattiin halkaisijaltaan 20, 40 ja 80 metrin kokoisia pienaukkoja kasvupaikkatyypiltään kuiviin tai kuivahkoihin metsiin. Maankäsittelymenetelmänä käytettiin laikutusta. Tässä esiteltävät tulokset perustuvat taimien inventointiin, joka tehtiin viisi vuotta hakkuun jälkeen. Männyn taimia syntyi aukoille keskimäärin 22 000 kpl/ha. Tiheys pieneni siirryttäessä reunametsästä aukon keskelle: 5 metriä reunasta taimia oli n. 21 000 kpl/ha ja 40 metrin päässä reunasta n. 14 000 kpl/ha. Tulos osoittaa, että tiheys myös suurimmalla tutkitulla aukolla (halkaisija 80 m, pinta-ala n. 0,5 ha) riittää täyttämään Suomen metsälaisissa asetetut vähimmäisvaatimukset. Taimettomien koealojen osuus oli noin 50 %, kun maaperää ei käsitelty ja koeala oli sammalten peitossa. Kun kivennäismaata paljastettiin 15–20 %, tyhjien koealojen osuus pieneni 0 %:iin. Tämä osoittaa, että suhteellisen pienialainen maanpinnan paljastus riittää tasaisen taimikon aikaansaamiseen.

Avainsanat: pienaukkohakkuu, *Pinus sylvestris*, luontainen uudistaminen, maankäsittely, metsän jatkuva kasvatus

Abstract

Natural regeneration of pine after small gap cuttings in Lapland

Gap cutting method has received a lot of attention lately as a method for natural regeneration of pine and also as a method for uneven-aged forestry. We aimed to study the success of pine regeneration in gaps of different sizes in pine-dominated stands in central Lapland. Circular clear-cut gaps used in the study were 20, 40 and 80 m in diameter situating on typical sub-xeric and xeric pine sites. Patch scarification was used as a soil preparation method. Here we report the results from an inventory carried out five years after cuttings. The average number of pine seedlings emerged was about 22 000 ha⁻¹. The seedling density decreased with distance from the edge stand from around 21 000 ha⁻¹ at the edge to 14 000 ha⁻¹ at 40 m from the edge. This result shows that density of seedlings also in the largest gap size (diameter 80 m, area ca. 0.5 ha) is enough to fulfill the minimum requirements set in the Finnish Forest Act. The proportion of empty sample plots was about 50% without soil preparation when the plots were covered by mosses. When soil preparation exposed 15–20% of the mineral soil, proportion of empty sample plots decreased to 0% indicating that even quite low proportion of exposed mineral soil was enough to establish evenly distributed seedling stand.

Keywords: Small gap cuttings, *Pinus sylvestris*, natural regeneration, soil preparation, continuous cover forestry

Johdanto

Pienaukkohakkuu metsänuudistamismenetelmänä on saanut viime aikoina paljon huomiota etenkin varjoa sietävän kuusen (*Picea abies* (L.) Karst) eri-ikäiskasvatuksessa. Pienaukkohakkuussa metsäkuviolta poistetaan puut pieniltä aloilta ja pyritään näin saamaan kuvion luontainen uudistuminen alkuun pienaukoissa. Käytetyn aukon koko vaihtelee metsikön ominaisuuksista riippuen, mutta se on Pohjois-Suomessa tyyppillisesti lähempänä yhtä hehtaaria kuin metsälain mukaista 0,3 ha:n rajaa. Avohakkuille ja muille uudistushakkuille säädetty uudistamisvelvoite ei koske 0,3 hehtaarin suuruisia tai sitä pienempiä aukkoja. Suuremmat pienaukot eivät ole ristiriidassa metsälain kanssa, kunhan uudistuminen onnistuu säädettyssä määräraajassa.

Pienaukkohakkuu lisää metsänpohjalle pääsevän valon määrää huomattavasti enemmän kuin jatkuvan kasvatuksen päämenetelmänä pidetty poimintahakkuu, jossa kuviolta poistetaan yksittäisiä suuria puita. Pienaukkohakkuu saattaisi siten soveltua myös männyn (*Pinus sylvestris* L.) jatkuvan kasvatuksen menetelmäksi päinvastoin kuin poimintahakkuu, jonka uskotaan soveltuvan männiköille vain poikkeustapauksissa (esim. Sarvas 1950; Valkonen 2017).

Pienaukkohakkuuta suositellaankin männiköille yhtenä jatkuvan kasvatuksen menetelmänä Tapion metsänhoidon suosituksissa (Äijälä ym. 2019). Tämä perustuu kuitenkin riittämättömään tutkimukseen ja käytännön kokemukseen. Vain harvat tutkimukset käsittelevät eri-ikäismänniköiden hoitoa ja kehitystä. Menetelmät pohjautuvatkin pitkälti yleiseen metsänhoidon tietotaitoon ja metsänhoidon tutkimukseen sekä perustutkimukseen metsiköiden aukkodynamiikasta ja reunavaikutuksesta (ks. esim. Mäkitalo 1987; Pukkala ym. 1993; Kuuluvainen 1994; Hyppönen & Hyvönen 2000; McCarthy 2001;

Jakobsson 2005; Ruuska ym. 2008). Lisäksi harvat olemassa olevat empiiriset tutkimukset pienaukkojen uudistumisesta Fennoskandiassa rajoittuvat kuusimetsiin (Hanssen 2003; Hanssen ym. 2003; Valkonen ym. 2011; Valkonen & Siitonen 2016; Hökkä ym. 2011, 2012; Hökkä & Mäkelä 2014; Hökkä & Repola 2018; Downey ym. 2018).

Aukkojen hakkaaminen metsään edistää puiden luontaista uudistumista muuttamalla olosuhteita suosiolliseksi siementen itämiselle sekä taimien selviämiseksi ja kasvulle (Aaltonen 1919; Liu & Hytteborn 1991; Kuuluvainen 1994). Pienaukkohakkuun onnistumiseen vaikuttaa olennaisesti ympäröivän hakkaamattoman metsän läheisyys. Reunametsän välittömässä läheisyydessä taimella on kilpailun vuoksi käytettävissään vähemmän resursseja, mm. auringon säteilyä ja ravinteita, kuin kauempana reunasta olevilla taimilla. Kilpailun vaikutus saattaa ulottua jopa 20 metrin päähän metsän reunasta (Siipilehto 2006; Ruuska ym. 2008; Valkonen ym. 2011). Axelsson ym. (2014) havaitsivat, että taimet saavuttivat tyydyttävän kasvutuloksen, kun etäisyys reunametsästä oli vähintään 5 metriä. Toisaalta reunametsästä voi olla myös hyötyä: se vähentää pensaiden ja rikkaruohojen aiheuttamaa kilpailua (Valkonen ym. 2011; Downey ym. 2018). Lisäksi reunan suunnalla on merkitystä, koska etelän suunnassa reunametsä varjostaa pienaukkoa. Luonnollisesti myös pääpuulajien siementen leviäminen vähenee metsänreunan etäisyyden kasvaessa. Metsänreunan vaikutus on havaittavissa männyn taimien tiheydessä aina 100–150 metriin asti (Ackzell 1994; Hyppönen & Hallikainen 2011), mutta yleensä 40–50 metrin etäisyyttä pidetään sopivana männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen onnistumiselle (Lehto 1956). Uusi metsälaki määrittääkin, että luontaisesti uudistettava alue voi ulottua korkeintaan 50 metrin etäisyydelle reunametsästä, eli pyöreä aukko voisi olla korkeintaan 100 m lä-

pimitaltaan (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 2013).

Pohjois-Suomessa siementen leviäminen voi tosin rajoittaa taimettumista 100 metriä pienemmilläkin aukoilla, sillä täällä valtapuut ovat suhteellisen lyhyitä (17–20 m), kun taas Etelä-Suomen kuusikoissa tehdyissä kokeissa valtapuut ovat tyypillisesti paljon pidempiä (24–31m). Lisäksi pohjoisessa puiden tuotama siemensato on pienempi ja hyvät siemenvuodet ovat harvinaisempia kuin etelässä (Henttonen ym. 1986). Myös aluskasvillisuuden (kenttä- ja pohjakerroksen) koostumus ja sen reagointi hakkuuseen voivat vaikuttaa uudistumisenestykseen. Tiheä aluskasvillisuus voi kilpailla tehokkaasti puun taimien kanssa valosta, vedestä ja ravinteista, mikä johtaa itämisen epäonnistumiseen tai taimien huonompaan kasvuun (Mallik 1995; Nilsson ym. 1996; Hyppönen ym. 2013). Myös paksu humuskerros heikentää itämistä ja taimien kehitystä (Hyppönen & Hyvönen 2000; Hyppönen ym. 2005). Keski-Lapissa kevyen

maankäsittelyn on todettu takaavan männyn nopean uudistumisen (Hyppönen 2002).

Tässä esiteltävät tutkimustulokset pohjautuvat Hallikaisen ym. (2019) julkaisemaan artikkeliin männyn luontaisesta uudistumisesta pienaukkohakkuussa. Pyrimme tarkastelemaan tuloksia uuden metsälain (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 2013) näkökulmasta: voidaanko pienaukkohakkuumenetelmällä saavuttaa Lapissa uuden metsälain vaatima taimikon minimitiheys (taulukko 1). Toisena vertailukohtana käytämme Tapion metsänhoitosuosituksia (Äijälä ym. 2019), vaikka männikön luontaiseen uudistamiseen suositeltuja taimikon tiheysrajoja ei olekaan suosituksissa annettu. Tapion metsänhoitosuosituksen mukaan männyn taimikon tavoitetiheyden tulisi korkealaatuisen tukkipuun takaamiseksi olla metsälain määrittämiä rajoja korkeampi: kylvössä 4 000–5 000 kappaletta hehtaarilla (kpl/ha) ja istutuksessa 2 200 kpl/ha.

Taulukko 1. Metsälain mukaiset aika- ja tiheysrajat luontaisesti uudistetuille taimikoille* Pohjois-Suomessa (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 2013).

Table 1. Time (years) and density (number of seedlings ha⁻¹) limits for regeneration in naturally regenerated stands in Northern-Finland set by the Finnish Forest Act.

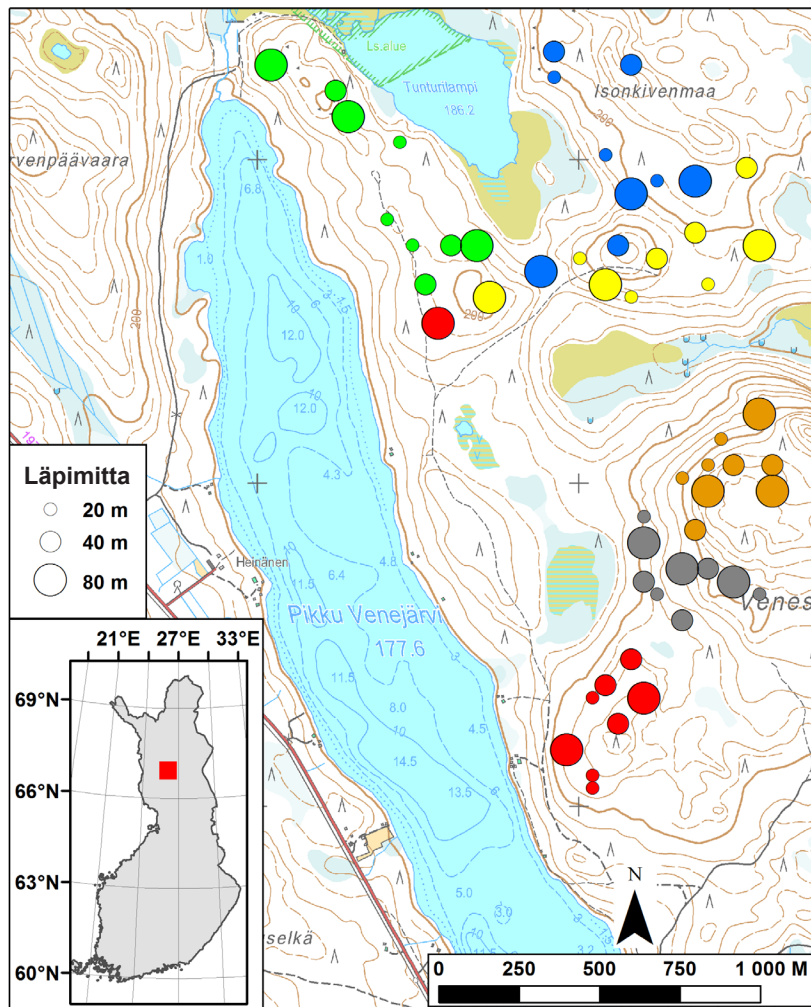
Alue	Aika hakkuun päättymisestä enintään	Taimikon tiheys (kpl/ha)
1. Suojametsäalue (lisäksi Inarin, Kittilän, Muonion, Sallan, Savukosken, Sodankylän kunnat kokonaisuudessaan)	25 vuotta	Havupuuvaltaiset: 1200 Lehtipuuvaltaiset: 1100
2. Muulla kuin kohdassa 1 tarkoitettulla pohjoisen Suomen alueella	20 vuotta	Havupuuvaltaiset: 1200 Lehtipuuvaltaiset: 1100

*Metsälain (1093/1996) mukaan taimikko katsotaan saaduksi aikaan, kun taimia on riittävästi, taimet ovat tasaisesti jakautuneina, niiden keskipituus on 0,5 metriä eikä niiden kehittymistä uhkaa välittömästi muu kasvillisuus.

Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Vuonna 2010 perustettiin männyn uudistamisen pienaukkokoe Veneselän alueelle Rovaniemellä kasvupaikkatyypiltään kuiviin (MCCIT) tai kuivahkoihin (EVT) metsiin. Alueen metsät ovat Metsähallituksen hallinnassa. Tutkimusalueen kokonaispinta-ala on noin 3 km², ja se jaettiin tutkimusta varten kuuteen mahdollisimman homogeeniseen lohkokoon (kuva 1). Alue lohkotettiin puuston sekä kasvupaikan rehevyyden perusteella.

Lohkot rajattiin siten, että lohkon sisäinen puuston ja kasvupaikkatyyppien vaihtelu oli mahdollisimman vähäistä. Jokaiseen lohkkoon arvottiin kolme erikokoista pienaukkokäsittelyä, joissa aukkojen läpimitat olivat 20, 40 tai 80 m. Käytännössä arvonta tehtiin käyttäen tiheää pistematriisia, jonka pisteistä arvottiin aukkojen keskipisteiden koordinaatit. Mikäli aukot menivät päällekkäin tai niiden väliin ei jäänyt 30 metrin puskurivyöhykettä, arvottiin uusi piste. Alueelle tehtiin yhteensä 54 pienaukkoa, 18 kutakin kokoa (kuva 1).

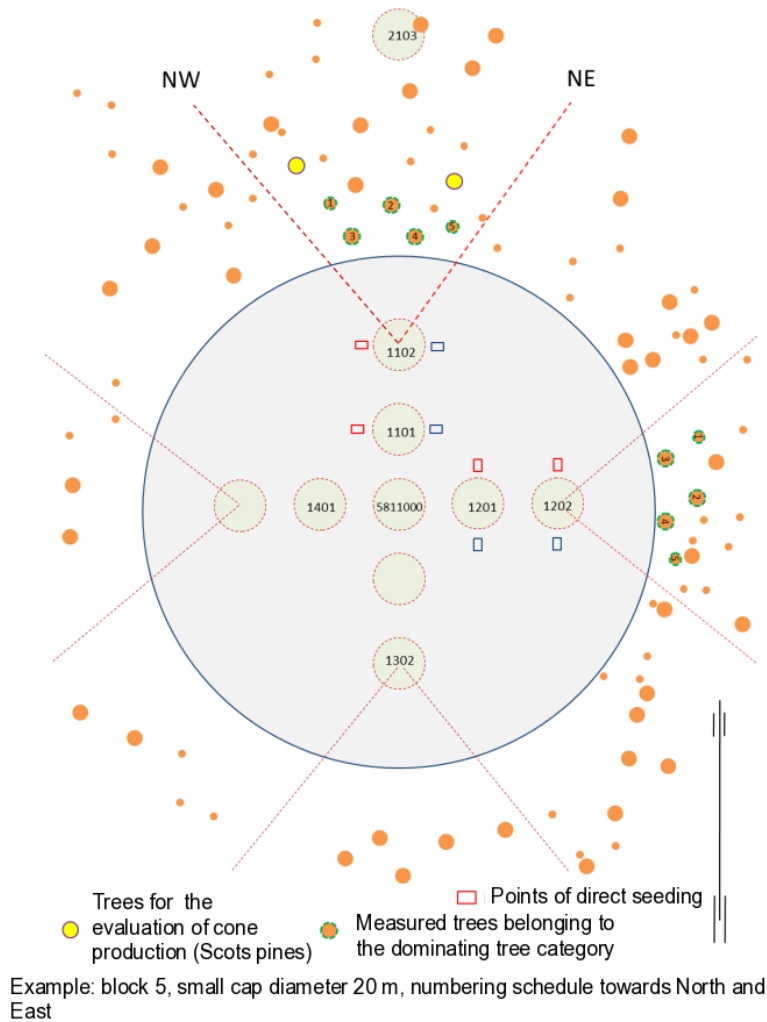


Kuva 1. Pienaukkokokeen sijainti, lohkotus (lohkot 1–6) ja erikokoisten pienaukkojen sijainti (Hallikainen ym. 2019).

Figure 1. Location of the experiment and the position of 6 blocks and small gaps within the experimental site (Hallikainen et al. 2019).

Aukot hakattiin mäntyvaltaisiin keski-ikäisiin yli 100 vuotta vanhoihin metsiköihin talvella 2010. Maa käsiteltiin kaivurilla laikuttaen, ja ympyräkoealat perustettiin kesän 2010 aikana. Aukkoihin perustettiin etelä-pohjois- ja itä-länsisuuntaisille linjoille 5 m²:n seuranta-

koealoja 3,33 metrin välein siten, että koealojen määrä oli 20 metrin aukolla 9 kpl, 40 metrin aukolla 21 ja 80 metrin aukoilla 45 kpl (kuva 2). Koealoilta poistettiin kaikki havaittavat taimet.



Kuva 2. Taimettumisen seurantakoealat pienaukoissa. Seurantakoealojen koko on 5 m². Kuvassa esimerkki halkaisijaltaan 20 m:n aukosta. Numeroinnit koealoilla indeksoivat seurantakoealan. Siemenpuita, joista arvioitiin käypysato vuosittain, oli 2 kpl aukon etelä- ja pohjoislaidalla. Kylvöruutujen taimimääriä ei käsitellä tässä artikkelissa, vaan mallinnus kohdistui seurantakoealoille luontaisesti syntyneisiin taimiin.

Figure 2. Location of the regeneration monitoring plots within the gaps. Size of the monitoring plot is 5 m². The example is for a gap of diameter 20m. Seed trees that were used to estimate cone production are located on south and north sides of the gap (2 trees on both sides). Results from the points of direct seeding shown in the figure are not presented in this article.

Koaloilta (5 m²) mitattiin paljastuneen kivennäismaan, sammalien, jäkälien ja tavallimpien metsävarpujen (puolukka, mustikka, variksenmarja, kanerva ym.) peittävyudet. Lisäksi määritettiin kivien, kantojen ja laikutuksessa syntyneiden siirtomättäiden peittävyysosuudet (%) koealojen pinta-alasta. Peittävyyskäyttöä käytettiin selittävinä muuttujina taimien syntyä kuvaavissa malleissa. Taimien määrät seurantakoealoilla mitattiin vuonna 2015 eli viiden täyden kasvukauden kuluttua koealojen perustamisesta. Taimien pituuksia ei tutkittu, koska pisimmätkin taimet olivat tuolloin vain 10–15 cm:n pituisia.

Aukkojen reunapuustosta mitattiin neljältä pääilmansuunnalta viisi päävaltapuuta, jotka sijaitsivat lähimpänä metsänreunaa (kuva 2). Puulajin lisäksi määritettiin puiden läpimitta (d1.3), ikä (havupuut) ja pituus. Yhdestä puusta aukon etelä- ja pohjoisreunalla määritettiin vuosittain käpysato käyttäen seitsenportaista luokitusta (katso tarkemmin Hallikainen ym. 2019). Aukon eri puolilta mitattujen havaintojen käpysatokeskiarvo testattiin malleissa aukko kohtaisena muuttujana samoin kuin reunapuustoista lasketut keskitunnukset.

Viiden kasvukauden aikana koealoille syntyneiden männyntaimien määrät mallinnettiin yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla negatiivisen binomijakauman oletuksella. Vastemuuttujana oli siis taimimäärä (kpl) ja selittävinä muuttujina sekä seurantakoealoilta että reunapuustosta mitattuja muuttujia. Koealan taimimäärää selittämään laadittiin erilliset mallit perustuen 1) koealan etäisyyteen metsän reunasta ja 2) pienaukon kokoon (halkaisija 20, 40 tai 80 m). Erilliset mallit laadittiin, koska koealan etäisyys metsän reunasta ja aukon koko kuvaavat osittain samaa ilmiötä, eikä niitä ole mahdollista käyttää selittäjinä samassa mallissa. Muiksi selittäjiksi malleihin valikoitui tilastollisen merkitsevyyden perusteella ympyräkoaloilta tai reunanmetsästä mitattuja muuttujia. Selittävinä

muuttujina käytettyjen tunnusten jakaumat ja toiminta malleissa on kuvattu tarkemmin julkaisussa Hallikainen ym. (2019). On korostettava, että taimien määriä mallinnettiin 5 m²:n koealoilla ja tuloksia havainnollistettiin muuntamalla malleilla ennustetut kappalemäärät hehtaari kohtaisiksi (1 taimi koealalla vastaa 2 000 tainta hehtaarilla). Mallien satunnaisosa koostui hierarkiasta: lohko (ylin taso), aukko ja koeala.

Lisäksi laadittiin logistinen sekamalli (jossa oli sama satunnaisosa kuin edellä) taimettomille koealoille. Taimettumaton tarkoittaa tässä koealaa, jolla ei ole yhtään männyn tainta. Kuten yllä kuvatuissa malleissa myös logistisessa sekamallissa yksi taimi 5 m²:n koealalla vastaa 2 000 tainta hehtaarilla. Metsälain ja sen nojalla annettujen säännösten mukaan taimettuneen metsikön rajana Pohjois-Suomessa pidetään 1 200 tainta hehtaarilla (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 2013). 2 000 tainta hehtaarilla kohtalaisen tasaisesti jakautuneena merkitsisi siis taimettunutta metsikköä ja lievää ”särkymävaraa” eli kuolleisuutta tai kasvatuskelvottomuutta muista syistä.

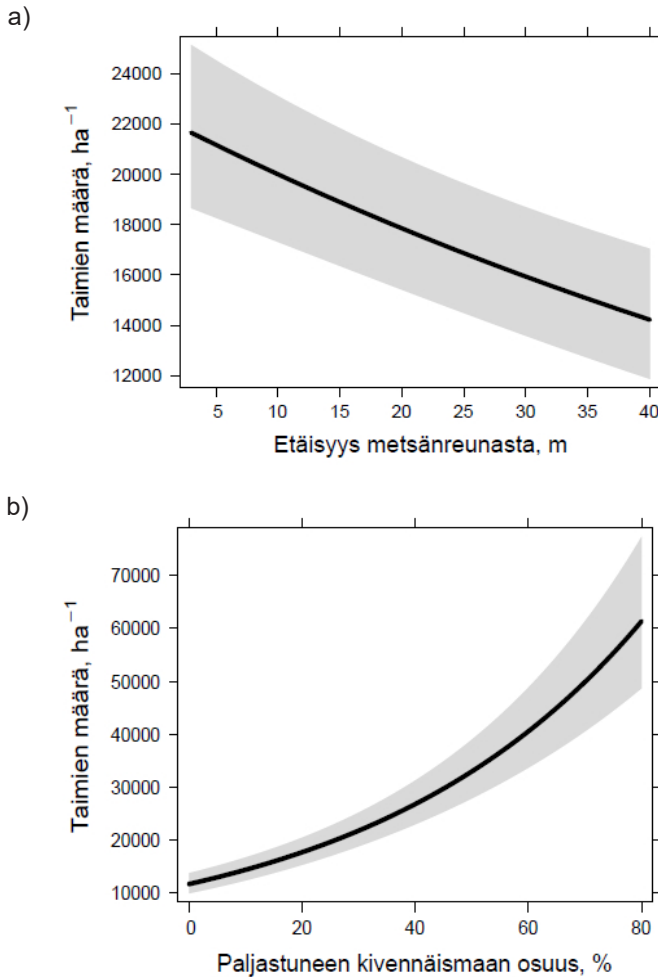
Mallinnus tehtiin R-ohjelmointiympäristön kirjastolla MASS (Venables & Ripley 2002). Ennustekuvat laadittiin R:n kirjastolla effects (Fox & Weisberg 2018). Kaikki muutkin laskennat tehtiin R-ohjelmointiympäristössä (R Core Team 2018).

Tulokset

Aukon koko ja koealan etäisyys metsän reunasta vaikuttivat merkittävästi taimettumiseen. Männyn taimia syntyi eniten pienimmille aukoille ja lähimmäksi varttuneen metsän reunaa (kuvat 3 ja 4). Suurimmillekin aukoille (0,5 ha, halkaisija 80 m), myös niiden keskiosiin (eli 40 metriä metsän reunasta), syntyi taimia riittävästi, mikäli kriteerinä oli metsälain mukainen taimien vähimmäismäärä. Taimimääriä arvioitaessa ei ole huomioitu taimien

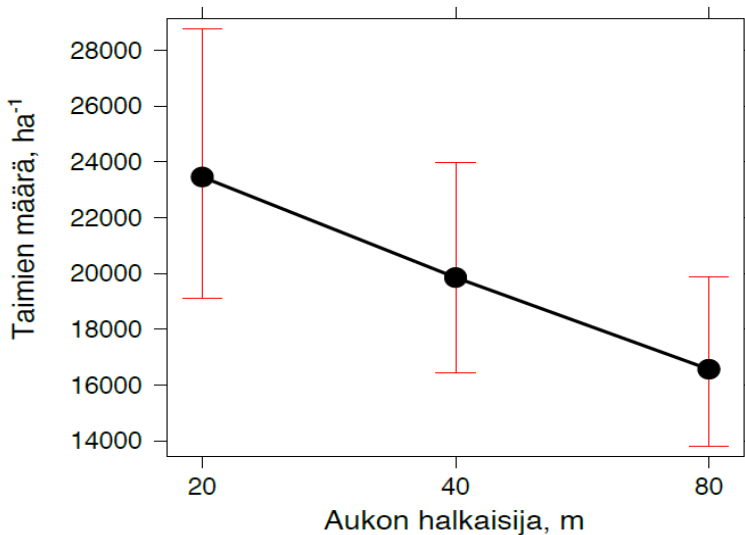
tilajärjestystä. Myös paljastuneen kivennäismaan osuus ympyräkoelan pinta-alasta edisti männyn taimien syntyä. Ilman maankäsittelyä taimia oli keskimäärin runsaat 10 000 kappaletta hehtaarilla, ja suhteellisen vähäisellä kivennäismaan paljastamisella (10–20 %) määrä kohosi noin 15 000–20 000 taimeen hehtaarilla (kuva 3). Muita merkitseviä muuttujia

taimien lukumäärämallissa olivat metsäsammalien, kuten seinäsammalien tai kerrossammalien, kantojen sekä kaksoishumusmättäiden peittävyudet ympyräkoelan pinta-alasta (%), joilla kaikilla näillä oli negatiivinen vaikutus mallissa. Näiden peittävyuden kasvaessa taimien määrä väheni.



Kuva 3. Reunametsästä mitatun etäisyyden (a) ja paljaan kivennäismaan (b) vaikutukset männyn taimien syntyyn (taimia hehtaarilla). Ennusteiden perustana on männyntaimien määrälle laadittu yleistetty lineaarinen sekamalli (negatiivin binomijakauma oletus). Muut selittävät muuttujat eli metsäsammalien, kantojen ja kaksoishumusmättäiden peittävyys koelasta (%) on kiinnitetty keskiarvoihinsa ennusteita laskettaessa.

Figure 3. Effects of distance from the edge forest (a) and the proportion (%) of bare mineral soil (b) on the number of seedlings ha⁻¹. Estimates are based on generalized linear mixed model. Other explanatory factors – cover (%) of mosses, stumps and double humus overturned in site preparation – have been fixed on their average when modelling the estimates.



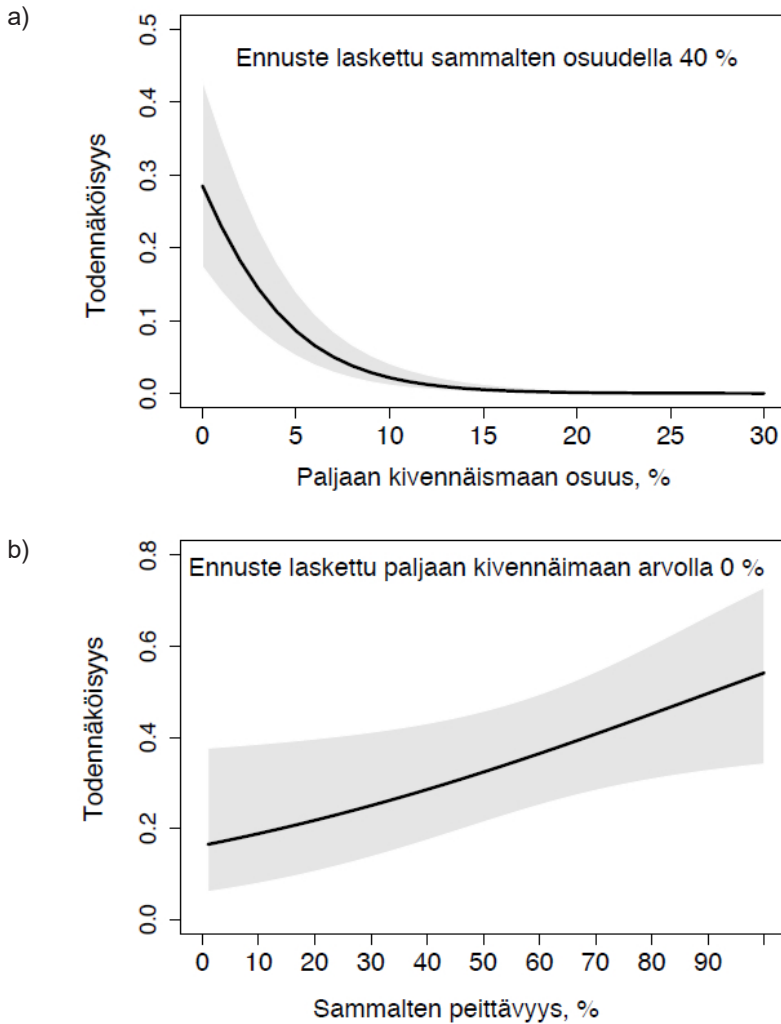
Kuva 4. Pienaukon halkaisijan vaikutus männyn taimien syntyyn (taimien lukumäärän keskiarvo hehtaarilla sekä tilastollisen mallin ennustamat 95% luottamusväli). Muut selittävät muuttujat mallissa ovat samat kuin kuvan 3 mallissa.

Figure 4. The effect of gap diameter on pine regeneration (average number of seedlings per hectare and 95% confidence intervals predicted by the statistical model). Other explanatory factors are the same as in Figure 3.

Logistinen malli ennusti koealan taimettumattomuudelle noin 30 %:n todennäköisyyttä, jos koealan pinta-alasta ei ollut paljastettu kivennäismaata lainkaan ja jos 40 % pinta-alasta oli metsäsammalien peitossa. Mikäli kivennäismaata oli paljastettu vähintään noin 15–20 %, jokaiselle koealalle oli syntynyt erittäin todennäköisesti vähintään yksi männyntaimi, eli todennäköisyys taimettomalle ruudulle oli 0 (kuva 5a). Metsäsammalien osuuden lisääntyessä taimettumattomuuden todennäköisyys kasvoi. Jos sammat peittivät koealan pohjakerroksen täysin, taimettumattoman koealan todennäköisyys oli noin 50 % (kuva 5b).

Pohdintaa

Tulokset osoittavat, että metsälain asettama minimitiheysraja 1 200 kpl/ha saavutetaan suurimmallakin tutkimuksessa mukana olleella aukkokoolalla (läpimitta 80 m), vaikka taimien määrä selvästi vähenee etäisyyden metsänreunasta kasvaessa (kuva 3a). Havaintomme taimien määrän vähenemisestä poikkeaa osittain esimerkiksi Axelssonin ym. (2014) tuloksista, joiden mukaan taimien määrä oli maksimissaan 5–10 m etäisyydellä metsänreunasta ja väheni sekä aukon keskustaa että metsän reunaa lähestyttäessä. Meidän tuloksissamme taimimäärä väheni tasaisesti aukon keskustaa kohti. Ero saattaa johtua siitä, että Axelssonin ym. tutkimuksessa hakkuusta oli kulunut aikaa jo 20–25 vuotta, joten esimerkiksi reunametsän puiden kilpailu oli ehtinyt jo pitkään lisätä taimien kuolevuutta.



Kuva 5. Maanmuokkauksella paljastetun kivennäismaan osuuden (a) ja metsäsammalien peittävyuden (b) vaikutus seurantakoealan taimettumiseen. Kuvissa on esitetty todennäköisyys sille, että seurantakoealalta ei löydy yhtään männyn tainta, eli mitä pienempi arvo on, sitä todennäköisemmin koealalta löytyy vähintään 1 taimi.

Figure 5. Effects of the proportion of exposed mineral soil (a) and moss cover (b) on pine regeneration. Figures present the probability that seedling monitoring plot do not have any seedlings, i.e. the lower the value the more likely it is that there is at least one seedling on the plot.

Vaikka taimia olikin ilman maankäsittelyä keskimäärin runsaat 10 000 kpl/ha, tuloksista käy selvästi ilmi, että luontaisen uudistamisen onnistumistodennäköisyys pienenee voimakkaasti, jos maan pinnan käsittelyä ei tehdä. Koeala oli taimeton 30 %:n todennäköisyydellä, mikäli kivennäismaata ei paljas-

tettu yhtään ja sammal peitti 40 % ruudusta. Sammaleen osuuden lisääntyminen heikensi taimettumista. Jos sammalet peittivät seurantaruudun kokonaan, se oli jo 50 % todennäköisyydellä taimeton. Joissakin kohdissa taimia oli siis todella paljon, kun taas toisaalla taimia ei ollut lainkaan. Maankäsittelyn vaiku-

tus taimettumiseen on toki havaittu lukuisissa aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Kaila 1993; Hyppönen 2002; Hyppönen & Kemppe 2002). Maankäsittelyllä tehdään aukkoja sammal- ja jäkäläpintoihin, joiden tiedetään olevan huonoja taimettumaan (Hertz 1934; Yli-Vakkuri 1961). Etenkin paksu sammalpinta, jonka alla on raakahumusta, on huono itämisalusta (Oinonen 1956), ja pelkkä paksu humuskerros voi ehkäistä itämistä ja taimien kehitystä (Hyppönen & Hyvönen 2000; Hyppönen ym. 2005). Maanmuokkaus nostaa maanpinnan lämpötilaa, mikä myös parantaa taimettumista ja taimien kasvua (Leikola 1974). Tutkimuksemme kuitenkin osoitti, että paljastettaessa maanpintaa vain 10–20 % voidaan saada 15 000 – 20 000 männyn tainta hehtaarille. Sitä voidaan pitää erinomaisena tuloksena. Kun maankäsittely kohdennetaan hyvin, voidaan siis jo pienialaisella maankäsittelyllä luoda taimettumiselle paremmat olosuhteet siten, että taimikosta tulee tasainen eikä sinne jää taimettomia aukkoja.

Tuloksia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että tutkimusjakso oli vain viisi ensimmäistä vuotta hakkuun jälkeen. Luontaisessa uudistamisessa on tyypillistä, että taimia syntyy kasaumiin (engl. *clumping distribution*), joissa kaikille taimille ei ole tilaa kasvaa. Niinpä huomattava osa taimista kuolee, mutta toisaalta taimia syntyy jatkuvasti lisää. Metsälaissa uuden taimikon syntymiselle on asetettu Lapissa 20 vuoden tavoiteaika: sen kuluttua uudistusosalalla tulisi olla vähintään keskimäärin 0,5 m pitkä taimikko, jossa on vähintään 1 200 kasvatuskelpoista tainta hehtaarilla. Saamamme tulokset viittaavat siihen, että tavoite voidaan pienaukoissa saavuttaa, eikä siihen välttämättä kulu 20 vuotta. Tulostemme perusteella voidaan siis todeta, että männiköiden pienaukkohakkuumenetelmällä todennäköisesti saavutetaan paitsi metsälain asettama minimitiheysraja 1 200 tainta/ha myös Tapion metsänhoitosuosituksen mukai-

nen taimikon tavoiteteiheys kylvölle (4 000 – 5 000 tainta/ha). Tämä edistää riittävän tiheän ja tasaisesti levittäytyvän taimikon syntymistä ja takaa korkealaatuisen tukkipuun saamisen.

Johtopäätökset

Tutkimuksemme osoittaa, että pienaukkohakkuuta voidaan käyttää onnistuneesti männyn luontaisen uudistamisen menetelmänä myös Lapissa. Kevyt maankäsittely (kivennäismaan paljastus noin 10–20 %:n alalta) varmistaa riittävän tasaisen taimettumisen. Siementä tuottavan reunametsän etäisyys vaikuttaa voimakkaasti aukon taimettumiseen, mutta ainakin tässä tutkimuksessa käytetyille etäisyyksille (maksimissaan 40 metriä reunametsästä eli pinta-alaltaan 0,5 hehtaarin aukko) siementen leviäminen oli riittävää.

Kiitokset

Haluamme kiittää Metsähallitusta, jonka hallinnoimalla maa-alueella koe sijaitsee. Metsähallitus myös suoritti hakkuut tutkijoiden ohjeiden mukaisesti. Pekka Välikangas, Pasi Aatsinki, Raimo Pikkupeura, Tarmo Aalto, Pekka Närhi, Eero Siivola, Aarno Niva, Jouni Väisänen ja Jukka Lahti muiden muassa tekivät tarkkuutta vaativat maastomittaukset. Vesa Nivala laati koelajojen spatiaalisen satunnaisotannan karttasovellutuksella. Pasi Aatsinki prosessoi datan tilastollista analyysia varten. Tämä koe perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) rahoituksella ja sitä jatkettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) strategisella rahoituksella projekteissa ”Metsän luontaisen uudistumisen ja erirakenteisuuden hyödyntäminen metsätaloudessa” (Forest renewal by natural methods, FORWARD) sekä ”Tools for natural regeneration in sustainable forest management” (TRANSFORM).

Lähteet

- Aaltonen, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa, I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im Finnischen Lappland, I. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 1. 375 s.
- Ackzell, L. 1994. Natural regeneration on planted clear-cuts in boreal Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9, 245–250. <https://doi.org/10.1080/02827589409382837>
- Axelsson, E. P., Lundmark, T., Högberg, P. & Nordin, A. 2014. Belowground competition directs spatial patterns of seedling growth in boreal pine forests in Fennoscandia. *Forests*, 5(9), 2106–2121. <https://doi.org/10.3390/f5092106>
- Downey, M., Valkonen, S. & Heikkinen, J. 2018. Natural tree regeneration and vegetation dynamics across harvest gaps in Norway spruce dominated forests in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(5), 524–534. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0358>
- Fox, J. & Weisberg, S. 2018. Visualizing fit and lack of fit in complex regression models with predictor effect plots and partial residuals. *Journal of Statistical Software*, 87(9), 1–27. <http://doi.org/10.18637/jss.v087.i09>
- Hallikainen, V., Hökkä, H., Hyppönen, M., Rautio, P. & Valkonen, S. 2019. Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(2), 115–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1557248>
- Hanssen, K. 2003. Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. *Forest Ecology and Management*, 180, 199–213. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00610-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00610-2)
- Hanssen, K., Granhus, A., Brække, F. & Haveræen, O. 2003. Performance of sown and naturally regenerated *Picea abies* seedlings under different scarification and harvesting regimens. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18(4), 351–361. <https://doi.org/10.1080/02827580310005973>
- 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. <https://doi.org/10.1080/02827588609382415>
- Hertz, M. 1934. Tutkimuksia kasvualueen merkityksestä männyn uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 20. 98 s.
- Hyppönen, M. 2002. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä Lapissa. Summary: Natural regeneration of Scots pine using the seed tree method in Finnish Lapland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 844. 69 s.
- Hyppönen, M., 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(4), 374–357. <https://doi.org/10.1080/02827580510036391>
- Hyppönen, M. & 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. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.586952>
- Hyppönen, M., Hallikainen, V., Niemelä, J. & Rautio, P. 2013. The contradictory role of understory vegetation on the success of Scots pine regeneration. *Silva Fennica*, 47(1), article id 903. 19 s. <https://doi.org/10.14214/sf.903>
- Hyppönen, M. & Hyvönen, J. 2000. Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapin yksityismetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja*, 4/2000, 589–602.
- Hyppönen, M. & Kemppe, T. 2002. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen Etelä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja*, 1/2002, 19–27.
- Hökkä, H. & Mäkelä, H. 2014. Post-harvest height growth of Norway spruce seedlings in northern Finland peatland forest canopy gaps and comparison to partial and complete canopy removals and plantations. *Silva Fennica*, 48(5), article id 1192. 16 s. <https://doi.org/10.14214/sf.1192>

- Hökkä, H. & Repola, J. 2018. Pienaukkohakkuun uudistumistulos Pohjois-Suomen korpi-kuusikossa – 10-vuotisinventoinnin tulokset. *Metsätieteen aikakauskirja*, 2018, artikkeli id 7808. <https://doi.org/10.14214/ma.7808>
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saari-
nen, M. 2011. Seedling survival and establish-
ment in small canopy openings in drained
spruce mires in northern Finland. *Silva Fennica*,
45(4), 633–645. <https://doi.org/10.14214/sf.97>
- Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saa-
rinen, M. 2012. Seedling establishment on small
cutting areas with or without site preparation in
a drained spruce mire – a case study in northern
Finland. *Silva Fennica*, 46(5), 695–705. <https://doi.org/10.14214/sf.920>
- Jakobsson, R. 2005. Growth of retained
Scots pines and their influence on the new
stand. [Dissertation.] Swedish University of
Agricultural Sciences, Umeå. *Acta Universitatis
Agriculturae Sueciae*, 2005:34. 33 s. + 4 appen-
dix papers.
- Kaila, S. 1993. Metsänuudistamisen tuloksen
määrittäminen ja männyn uudistamisen tuloksia.
Summary: Determining the outcome of forest
regeneration; results from Scots pine regenera-
tion practices. *Metsätalon tiedotus* 409. 47 s.
- Kuuluvainen, T. 1994. Gap disturbance,
ground micro topography, and the regenera-
tion dynamics of boreal coniferous forests in
Finland: A review. *Annales Zoologici Fennici*,
31(1), 35–51.
- Lehto, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontais-
esta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla.
Summary: Studies on the natural reproduction
of Scots pine on the upland soils of Southern
Finland. *Acta Forestalia Fennica*, 66(2). 106 s.
<https://doi.org/10.14214/aff.7472>
- Leikola, M. 1974. Maanmuokkauksen vaikutus
metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa.
Summary: Effect of soil preparation on soil
temperature of forest regeneration areas in
northern Finland. *Communicationes Instituti
Forestalis Fenniae*, 84(2). 64 s.
- Liu, Q. & Hytteborn, H. 1991. Gap structure,
disturbance and regeneration in a primeval *Picea
abies* forest. *Journal of Vegetation Science*, 2(3),
391–402. <https://doi.org/10.2307/3235932>
- Mallik, A. 1995. Conversion of temperate
forests into heaths: Role of ecosystem distur-
bance and ericaceous plants. *Environmental
Management*, 19(5), 675–684.
- McCarthy, J. 2001. Gap dynamics of forest
trees: A review with particular attention to bo-
real forests. *Environmental Reviews*, 9(1), 1–59.
<https://doi.org/10.1139/a00-012>
- Mäkitalo, K. 1987. Kuusen luontaisesta uu-
distumisesta korkealla paksusammaltyypin
maalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*,
278, 32–46.
- Nilsson, U., Gemmel P. & Hällgren, J. 1996.
Competition vegetation effects on initial growth
of planted *Picea abies*. *New Zealand Journal of
Forestry Science* 26(1/2), 84–98.
- Oinonen, E. 1956. Männiköiden luontaisen
uudistumisen edellytyksistä Lapin kangasmailla
eräiden taimivaroja selvittävien inventointien
valossa. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti*, 73,
225–230.
- Pukkala, T., Kuuluvainen, T. & Stenberg, P.
1993. Below-canopy distribution of photosyn-
thetically active radiation and its relation to seed-
ling growth in a boreal *Pinus sylvestris* stand. *Scandi-
navian Journal of Forest Research*, 8, 313–325.
<https://doi.org/10.1080/02827589309382780>
- R Core Team. 2018. R: A language and envi-
ronment for statistical computing. R Founda-
tion for Statistical Computing. Vienna, Austria.
<https://www.R-project.org/>
- Ruuska, J., Siipilehto, J. & Valkonen, S.
2008. Effect of edge stands on the develop-
ment of young *Pinus sylvestris* stands in south-
ern Finland. *Scandinavian Journal of For-
est Research*, 23(3), 214–226. <https://doi.org/10.1080/02827580802098127>

Sarvas, R. 1950. Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 38(1). 95 s. Finnish with English summary.

Siipilehto, J. 2006. Height distributions of Scots pine sapling stands affected by retained tree and edge stand competition. *Silva Fennica*, 40(3), 473–486.

Valkonen, S. 2017. Metsän jatkuvasta kasvatuksesta. Luonnonvarakeskus ja Metsäkustannus. Helsinki. 124 s.

Valkonen, S., Koskinen, K., Mäkinen, J. & Vanha-Majamaa, I. 2011. Natural regeneration in patch clear-cutting in *Picea abies* stands in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(6), 530–542. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.611818>

Valkonen, S. & Siitonen, J. 2016. Tree regeneration in patch cutting in Norway spruce stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(3), 271–278. <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1099726>

Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä. 1308/2013. 2013. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20131308>

Venables, W. & Ripley, B. 2002. Modern applied statistics with S. Fourth edition. Springer. New York (NY). 498 s.

Yli-Vakkuri, P. 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensikehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. *Acta Forestalia Fennica*, 75(1). 122 s.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja.

Metsikön harventamisen ja maankäsittelyn vaikutus männiköiden luontaiseen uudistumiseen ja taimien kasvuun Lapissa

Ville Hallikainen^{1*}, Johanna Karjalainen¹, Mikko Johannes Kyrö¹, Mikko Hyppönen¹ ja Pasi Rautio¹

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Ounasjoentie 6, 96200 Rovaniemi.

*Vastaava tutkija: Ville.Hallikainen@luke.fi



Tiivistelmä

Pohjois-Suomessa metsien kasvu on hidasta, joten sekä tuotos että tuotto jäävät pieniksi. Siksi alhaiset uudistamiskustannukset ovat Lapissa kannattavan metsänkasvatuksen perusta. Mikäli luontainen uudistaminen onnistuu, voidaan tuottoa pienentävä kallis metsänviljely (istutus tai kylvö) välttää. Tässä tutkimuksessa tarkastelemme, millainen vaikutus metsikön puuston harventamisella ja maankäsittelyllä on luontaiseen uudistumiseen ja taimien kasvuun. Tutkimusta varten eri puolille Lappia perustettiin tutkimusmetsiköitä, joihin rajatuille koeruuduille arvottiin jokin kasvatustiheyksistä: 50 runkoa/ha, 150 runkoa/ha, 250 runkoa/ha tai harventamaton kontrolli, missä puuston tiheys oli ≥ 250 runkoa/ha. Lisäksi tehtiin maankäsittely (äestys) kahdella koeruudulla, joilla puuston tiheys oli joko 50 runkoa/ha tai 150 runkoa/ha. Koeruuduilla seurattiin 11 vuoden ajan mm. taimien lukumäärää, ikää ja pituutta. Seurannassa selvisi, että ajan kuluessa taimien lukumäärä kasvaa sitä voimakkaammin, mitä harvempi puusto on. Taimien pituuskasvu oli harventamattomassa kontrollissa ja tiheimmässä (250 runkoa/ha) käsittelyssä hyvin pientä tai jopa olematonta mutta kohosi puuston harventuessa. Parhaimpaan kasvuun päästiin, jos puusto oli harvaa ja maa käsitelty. Tulokset osoittavat, että Lapissa kuivahkojen kankaiden männiköt uudistuvat luontaisesti tarpeeksi hyvin, jotta metsälain vaatimat rajat saavutetaan. Jos tavoitellaan metsänhoitosuosituksen mukaista taimikon tavoitetiheyttä korkealaatuisen tukkipuun takaamiseksi, siihen päästään harventamalla puusto harvaksi tai tekemällä maankäsittelyä.

Avainsanat: metsätalous, metsien luontainen uudistaminen, metsälaki, maankäsittely, väljennyshakkuu

Abstract

Effects of thinning and site preparation in pine stands on natural regeneration and seedling growth in Lapland

In northern Finland forest growth is slow, and thus both yield and profit remain low. Therefore, low regeneration costs are the basis for profitable silviculture in Lapland. If the natural regeneration is successful, expensive artificial regeneration (planting or sowing) that reduces economic profit, can be avoided. In this study, we examine the impact of thinning and soil preparation on natural regeneration and seedling growth. Study stands were established in different parts of Lapland. In each stand four thinning treatments (50 tree trunks ha^{-1} , 150 trunks ha^{-1} , 250 trunks ha^{-1} or unthinned control, where the stand density was ≥ 250 trunks ha^{-1}) were randomly allocated to experimental plots. In addition, soil preparation (disc trenching) was carried out on two experimental plots in which density of trees was either 50 trunks ha^{-1} or 150 trunks ha^{-1} . In the experimental plots e.g. seedling number, age and growth were monitored for 11 years. Monitoring revealed that the number of seedlings increases the more the lower the tree density is. Average seedling height growth was very low or even non-existent in the unthinned control and in the densest (250 trunks ha^{-1}) treatment, but increased when the stand density decreased. The highest growth was achieved when the stand density was low and the soil was prepared. The results show that in Lapland pines regenerate naturally in sub-xeric heaths well enough to reach the limits required by the Finnish Forest Act. If the target seedling density is set to achieve the forest management recommendations in order to guarantee high-quality saw-timber, this can be achieved by heavy thinning or by doing soil preparation.

Keywords: forestry, natural regeneration of forests, Forest Act, soil preparation, preparatory cutting

Johdanto

Luontainen uudistaminen on yksi vaihtoehto avohakkuulle ja sitä seuraavalle metsän viljelylle (kylvö tai istutus). Erityisesti Lapissa luontainen uudistaminen on varteenotettava vaihtoehto useistakin syistä. Alhaiset uudistamiskustannukset ovat Lapissa metsänkasvatuksen perusta, sillä pohjoisessa metsien kasvu on hidasta ja näin sekä tuotos että tuotto jäävät pieniksi. Lisäksi ankarat ilmasto-olosuhteet, suuret pinta-alat ja pitkät kuljetusmatkat heikentävät metsätalouden kannattavuutta (Hyppönen 2002). Niemistön ym. (1993) mukaan luontaisella uudistamisella voidaan saavuttaa sekä puuntuotannollisia että taloudellisia etuja. Luontaisesti syntyvän taimikon tiheys on korkea, mikä parantaa puun teknistä laatua (Valtanen 1984; Niemistö ym. 1993), ja samalla säästetään työvoimakustannuksissa, kun vältetään kalliilta istutustyöltä (Niemistö ym. 1993). Näiden syiden vuoksi luontainen uudistaminen on ollut Lapissa yleinen uudistamismenetelmä, ja yleensä se on onnistunut hyvin (Aaltonen 1919; Lassila 1920; Hyppönen & Hyvönen 2000). Tavallisin menetelmä männikön luontaisessa uudistamisessa on siemenpuuhakkuu ja sitä mahdollisesti edeltävä luontaiseen uudistamiseen tähtäävä väljennyshakkuu, jossa jätettävän puuston runkoluku on huomattavasti tavanomaisia siemenpuuasentoja tiheämpää; nykyisin metsänhoito-ohjeiden mukaisen siemenpuuston tiheys on yleisimmin noin 50–100 puuta/ha (Hyppönen 2005).

Luontaisen uudistamisen käyttöä Lapissa puoltavat erityisesti metsien korostunut monikäyttö ja tarve säilyttää metsät peitteisinä koko kiertoajan (Hyppönen 2005). Viime aikoina on keskusteltu yhä enemmän peitteisen metsänhoidon hyödyistä varsinkin valtion omistamilla mailla, joita Lapissa on runsaasti. Metsien muut käyttömuodot, kuten matkailu, poronhoito ja luonnonsuojelu, hyötyvät ny-

kyisiä käytäntöjä tiheämmistä siemenpuustoista (Hyppönen 2002).

Uuden metsälain mukaan taimikon on synnyttävä luontaisen uudistamisen tuloksena tiettyjen aikarajojen sisällä, jotka vaihtelevat eri puolilla Lappia. Suojametsäalueella sekä Inarin, Kittilän, Muonion, Sallan, Savukosken ja Sodankylän kuntien alueella taimikon on oltava riittävän tiheä ja laadultaan tyydyttävä 25 vuoden kuluttua uudistamistoimenpiteiden loppuunsaattamisesta. Muualla pohjoisen Suomen alueella aikaraja on 20 vuotta. Taimikkoa arvioitaessa huomioidaan sen alueellinen sijainti, pääpuulaji sekä uudistusalan viljavuus ja pintakasvillisuus. Pohjoisen Suomen alueella taimikon vähimmäisvaatimukset täyttyvät, mikäli havupuuvaltaisessa taimikossa hyväksyttävien taimien lukumäärä on vähintään 1 200 tainta/ha ja lehtipuuvaltaisissa taimikoissa 1 100 tainta/ha (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 2013). Metsälain (2013) 8 §:n mukaan taimikon katsotaan olevan vakiintunut, kun se täyttää tiheysvaatimukset ja on saavuttanut 0,5 metrin pituuden annettujen aikarajojen sisällä.

Aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. Hallikainen ym. 2007) on havaittu männyn luontaiseen uudistamiseen tarvittavan ajan olevan ainakin 10 vuotta, jotta taimikko saavuttaisi metsälain asettamat rajat. Todennäköisyys, että taimikko saavuttaa riittävän tiheyden, kasvaa vähitellen siemenpuuhakkuun jälkeen. Metsänhoitosuosituksen (Äijälä ym. 2019) mukaan taimikon tavoitetiheyden tulisi kuitenkin olla metsälain määrittämiä rajoja korkeampi, kylvöllä 4 000 – 5 000 tainta/ha tai istuttamalla 2 200 tainta/ha, korkealaatuisen tukkipuun takaamiseksi. Männikön luontaiseen uudistamiseen taimikon suositeltuja tiheysrajoja ei ole annettu.

Hallikaisen ym. (2007) tutkimuksessa havaittiin, että siemenpuuhakkuun tuloksena uudistumistulos ei yltänyt metsälain vähim-

mäisvaatimukseen: keskimääräinen elävien taimien määrä oli vain 1 000 tainta/ha, ja vaihtelu oli suurta metsikkötasolla. Metsätyyppi sekä siemenpuuhakuusta kulunut aika vaikuttivat merkitsevästi uudistumistulokseen. Kuivilla kankailla taimikko saavutti vaaditun tiheyden todennäköisemmin kuin rehevämmissä metsissä. Tosin Hallikaisen ym. (2007) aineisto oli Koillis-Lapista, joissa mäntykankaiden uudistamisongelmat ovat olleet yleisiä.

Hyvän uudistumistuloksen lisäksi kannattavan metsätalouden edellytyksenä on, että taimet kasvavat hyvin. Useiden tutkimusten mukaan taimien pituuteen vaikuttavia tekijöitä ovat taimen ikä, luontaisen uudistamisen hakuusta kulunut aika, etäisyys lähimpään siemenpuuhun sekä lämpösumma (Valtanen 1984; Niemistö ym. 1993; Eskelinen 2000; Hallikainen ym. 2007; Hyppönen ym. 2013). Niemistön ym. (1993) mukaan taimen pituus kasvoi siemenpuusta mitatun etäisyyden kasvaessa. Selvimmin siemenpuiden vaikutus näkyi vanhoilla siemenpuualoilla, koska aluksi siemenpuut eivät vielä paljon vaikuta taimien pituuskasvuun, mutta taimikoiden vartuttua siemenpuut alkavat rajoittaa taimien pituuskasvua.

Myös Valtanen (1998) ja Eskelinen (2000) ovat todenneet, että siemenpuut alkavat vaikuttaa taimien pituuskasvuun vasta myöhemmässä vaiheessa. Eskelisen (2000) mukaan siemenpuut alkavat rajoittaa taimien pituuskasvua vasta noin 10 vuoden kuluttua hakuusta. On huomioitava, että näissä tutkimuksissa käsitellään metsänhoitosuosituksen mukaisia siemenpuiden tiheyksiä.

Vaikka pohjoisessa mäntymetsiköt ovat luontaisesti harvoja eikä niiden latvusto ole sulkeutunut samalla tavalla kuin etäläisemmässä Suomessa, on kilpailun silti havaittu vaikuttavan taimien pituuskasvuun (Hyppönen & Hyvönen 2000). Juuristokilpailu hidastaa pituuskasvua taimikon kehityksen alkuvaiheessa enemmän kuin valon puute (Aaltonen

1919; Hagner 1962; Lehto 1969; Hallikainen ym. 2007). Siemenpuutaimikoiden pituuskasvun on todettu olevan nopeampaa kuin alikasvotaimikoiden; tämä johtuu todennäköisesti alhaisemmasta ylispuuston tiheydestä ja sen myötä vähäisemmästä valo- ja juuristokilpailusta (Hagner 1962; Lehto 1969).

Pintakasvillisuuden aiheuttama kilpailu estää vain harvoin taimettumisen ainakaan pohjoisen karuissa olosuhteissa (Valkonen 1992). Uudistushakkuun jälkeen kanerva runsastuu uudistusaloilla. Kanervan on havaittu heikentävän männyn pituuskasvua mutta parantavan taimettumistodennäköisyyttä (Hyppönen ym. 2013; ks. myös Nygren & Saarinen 2001). Puolukan on puolestaan todettu heikentävän taimettumista (Wardle ym. 2008) ja parantavan männyntaimien pituuskasvua (Hyppönen ym. 2013). Variksenmarjan on havaittu heikentävän sekä männyntaimien pituuskasvua että niiden selviytymistä (Zackrisson ym. 1995; Hyppönen ym. 2013). Hyppösen ym. (2013) mukaan männyntaimien alkukehitykseen vaikuttavat selvästi myönteisimmin siemenpuuhakuusta kulunut aika ja paljastetun mineraalimaan määrä, selvästi kielteisimmin taas humuskerroksen paksuus ja hakuutähteiden määrä.

Hakuutähteillä on havaittu olevan negatiivinen vaikutus taimien selviytymiseen, jos niitä on jätetty uudistusalalle runsaasti (Jonsson 1999; Karlsson ym. 2002), mutta jos niitä on vain kohtuullisesti, vaikutusta ei ole havaittu (Lehto 1956, 1969). Hakuutähteet voivat mm. vähentää humuksen kosteutta, estää auringon säteilyn lämmittävää vaikutusta tai estää siementen pääsyn maan pinnalle; toisaalta ne voivat suojella maaperää hakuuvaiheen vaurioilta (Karlsson ym. 2002) tai taimia tukkimiehentäiltä (Örlander & Nilsson 1999). Kivennäismaan paljastumisen esimerkiksi maanmuokkauksen yhteydessä on todettu edistävän männyn taimettumista kuivilla ja erityisesti kuivahkoilla kankailla, mutta

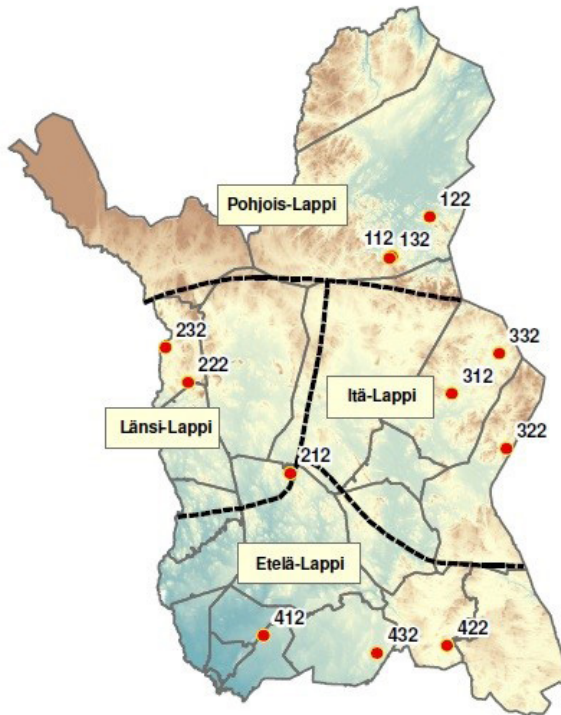
paljastuneen kivennäismaan osuuden metsän pohjakerroksen pinta-alasta ei tarvitse olla kovin suuri: jo noin 10 %:n paljastetun kivennäismaan osuus edistää taimettumista huomattavasti (Hallikainen ym. 2019).

Tässä tutkimuksessa tarkastelemme ylispuuston harventamisen vaikutuksia luontaiseen uudistumiseen sekä maankäsittelyn vaikutusta taimettumistulokseen ja taimien kasvuun. Ennen kaikkea tarkoituksena on selvittää, saavutetaanko puuston eri tiheyksillä tai maankäsittelyllä metsälain vaatima uudistumistulos tai päästäänkö jopa metsänhoitosuosituksen mukaiseen hyvään uudistumistulokseen.

Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Kokeen rakenne ja aineiston keruu

Tutkimuksessa Lappi jaettiin neljään alueeseen: Pohjois-, Länsi-, Itä- ja Etelä-Lappiin. Kolmen peräkkäisen vuoden aikana perustettiin kullekin alueelle yksi tutkimusmetsikkö paikkakuntaa vaihtaen, joten kohteita oli kaikkiaan 12 (kuva 1, taulukko 1). Lapin lisäksi tutkimusmetsiköitä perustettiin Kainuuseen, mutta niitä ei käsitellä tässä artikkelissa lukuun ottamatta Paltamossa sijaitsevia ns. intensiivikoealoja (ks. tarkemmin jäljempänä). Perustaminen kolmena peräkkäisenä vuonna vähentää yhden kasvukauden ilmasto-olojen vaikutusta. Sijoittamalla tutkimusmetsiköt eri puolille Lappia pyrittiin kartoittamaan, onko käsiteltävien vaikutus erilainen erilaisissa ilmasto-oloissa.



Kuva 1. Tutkimuksessa käytetty aluejako (Pohjois-, Länsi-, Itä- ja Etelä-Lappi) sekä 12 tutkimusmetsikön (punaiset pisteet) sijainti.

Figure 1. Division of the study area in Northern, Western, Eastern and Southern Lapland, and the location of 12 study stands (red dots).

Taulukko 1. Tutkimusmetsiköiden sijainnit sekä perustamis- ja inventointivuodet. Inventointeja tehtiin kaikissa tutkimusmetsiköissä seitsemän kertaa.

Table 1. Location (municipality), year of establishment and inventory years of the study stands.

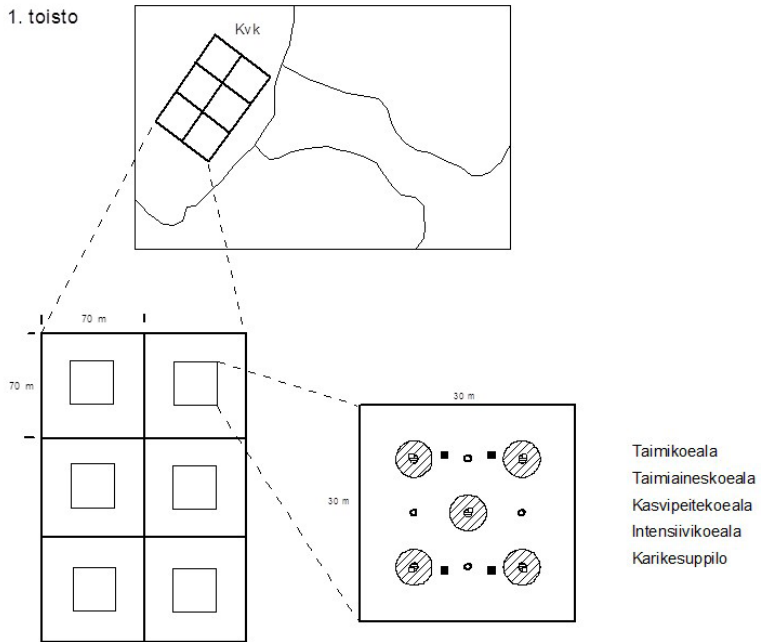
Alue	Sijainti	Kunta	Perustamis- vuosi	Inventointivuodet
Pohjoinen	Raiviovaara	Inari	2004	2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2015
	Paloselkä	Inari	2005	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013, 2016
	Alajoenpää	Inari	2006	2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2017
Läntinen	Sortoselkä	Rovaniemi	2004	2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2015
	Palo-Vitsavaara	Kolari	2005	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013, 2016
	Valkeajärvi	Muonio	2006	2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2017
Itäinen	Kairijoki	Savukoski	2004	2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2015
	Rikkilehto	Salla	2005	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013, 2016
	Maskaselkä	Savukoski	2006	2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2017
Eteläinen	Kuivasjärvi	Simo	2004	2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2015
	Laitavaara	Posio	2005	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013, 2016
	Isovaara	Ranua	2006	2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2017

Kussakin tutkimusmetsikössä oli kuusi, kooltaan 30 x 30 m koeruutua, joiden ympärille jätettiin 15–20 metrin levyinen vaippa reuna-vaikutuksen vähentämiseksi (kuva 2). Kullakin koeruudulle arvottiin jokin kasvustiheyksistä: 50 runkoa/ha, 150 runkoa/ha, 250 runkoa/ha tai harventamaton kontrolli, missä puuston tiheys oli ≥ 250 runkoa/ha. Kahdella koeruudulla tehtiin lisäksi maankäsittely (äestys). Maankäsittelyruuduilla puuston tiheys oli joko 50 runkoa/ha tai 150 runkoa/ha.

Ensimmäinen koemetsikkö perustettiin ja mitattiin jokaisella neljällä alueella vuonna 2004, toinen vuonna 2005 ja kolmas vuonna 2006. Kunkin metsikön hakkuut ja hakkuun jälkeiset mittaukset tehtiin perustamisvuoden syksyllä tai aikaisin seuraavana keväänä. Kalkilta koeruuduilta, lukuun ottamatta kontrollia, raivattiin koivun- ja kuusentaimet sekä yli 0,5 metrin mittaiset männyntaimet. Hakkuu-

tähteet jätettiin uudistusalueelle kuten tavallisissa hakkuissa.

Kunkin koeruudun sisälle perustettiin viisi säteeltään 2,52 m (20 m²) ympyräkoelaa taimien mittausta varten. Kullakin ruudulla oli lisäksi viisi kooltaan 0,71 x 0,71 m neliön muotoista alaa, joilla tehtiin kasvipeiteanalyysi. Näiltä mitattujen peittävyyksien keskiarvoja käytettiin kuvaamaan 20 m²:n ympyräkoelajien kasvillisuutta. Taimikoealoilta mitattiin myös kivisyys, humuksen paksuus sekä sammal- ja jäkäläkerroksen paksuus. Lisäksi arvioitiin muokkausjäljen ja hakkuutähteiden peittävyden osuus taimikoealasta.



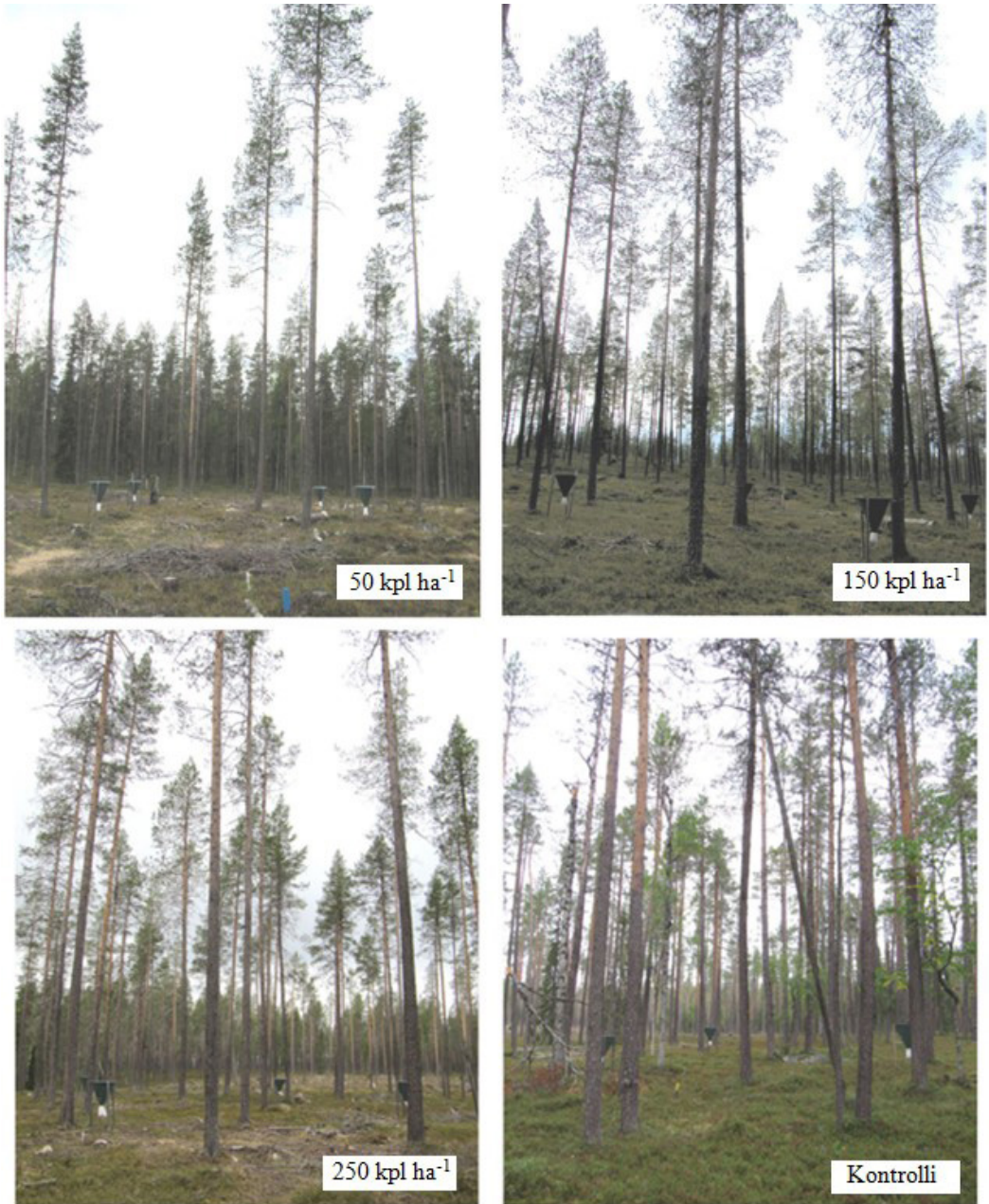
Kuva 2. Tutkimusmetsikön koejärjestely. Kuvassa ympyrä- ja kasvillisuuskoalojen sijoittuminen arvottujen käsittelyruutujen sisällä. Kullakin käsittelyruudulla oli viisi 20 m^2 :n ympyräkoalaa (Taimikoealat), joilta taimimittaukset tehtiin, sekä viisi kasvipeitekoalaa, jotka sijoitettiin ympyräkoalan keskipisteeseen. Intensiivikoealoilla (1 m^2) seurattiin yksittäisten taimien syntyä ja kehitystä. Intensiivikoealoja oli Savukosken ja Simon koemetsiköissä sekä lisäksi Lapin eteläpuolella Kainuussa sijaitsevalla Paltamon koemetsiköllä.

Figure 2. Experimental design in a study stand. In each $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ treatment square plot five circular 20 m^2 seedling monitoring plots were established. A square plot ($0.71\text{ m} \times 0.71\text{ m}$) for vegetation analysis was placed in the centre of each of seedling monitoring plot. Four 1 m^2 square intensive seedling monitoring plots in each treatment plot were used to monitor seedling emergence and survival. Intensive monitoring plots were placed in Savukoski and Simo, and in one stand in Paltamo (in Kainuu region outside the original study area).

Pohjakerroksesta arvioitiin seuraavien lajien tai lajiryhmien osuudet: karhunsammalet, rahkasammalet, muut sammalet, poronjäkä-lät ja muut jäkälät. Kenttäkerroksesta arvioitiin puolestaan lajitasolla puolukan (*Vaccinium vitis-idaea*), mustikan (*Vaccinium myrtillus*), juo-lukan (*Vaccinium uliginosum*), variksenmarjan (*Empretum nigrum*), kanervan (*Calluna vulgaris*) ja suopursun (*Ledum palustre*) osuudet sekä lajiryhmän tasolla heinien ja sarojen, pajujen sekä muiden putkilokasvien osuudet.

Taimikoealoilta mitattiin yli 10 cm pituis-ten taimien lukumäärä ensimmäisen viiden vuoden aikana vuosittain ja myöhemmin kolmen vuoden välein. Taimista mitattiin tai määritettiin ikä, pituus, pituuskasvu, kehitys-kelpoisuus (elinvoimainen ja etäisyys lähim-pään elinvoimaiseen taimeen $\geq 80\text{ cm}$) ja tuhot sekä suunta ja etäisyys koealan keskipisteestä. Taimimittaukset tehtiin kasvukauden lopulla (elokuun lopussa – lokakuun alussa).

Metsikön harventamisen ja maankäsittelyn vaikutus
männiköiden luontaiseen uudistumiseen ja taimien kasvuun Lapissa



Kuva 3. Havainnekuvat kokeessa käytetyiltä käsittelyruuduilta. Ylhäältä vasemmalta alkaen runkotiheydet 50, 150, 250 runkoa/ha sekä käsittelemätön kontrolli.

Figure 3. Photos showing example study stands with different thinning treatments: 50, 150 and 250 trees ha⁻¹ and unthinned control.

Kolmessa tutkimusmetsikössä sijainneilta intensiivikoealoilta (Savukosken Kairijoella, Simon Kuivasjärvellä ja Paltamossa sijaitsevilta koealoilta) määritettiin taimien lisäksi myös ruudun kasvillisuus (peittävydet) viimeisen inventoinnin yhteydessä koko alalta. Lisäksi jokaisella inventoinnilla määritettiin kasvilajisto luokitettuna (kenttäkerroksesta varpu-
lajit, muut putkilokasvit sekä kasvipeitteetön alue ja pohjakerroksesta rahkasammalet, karhunsammalet, muut sammalet, jäkälät ja peitteetön kivennäismaa) 3 cm:n säteeltä jokaisen syntyneen taimen ympäriltä (syntypaikan kasvillisuus). Jokaisella inventoinnilla määritettiin syntyneet taimet, taimien ikä ja kuolleet taimet.

Aineiston tilastollinen analysointi

Männyn taimien määrät ja pituuskehitys mallinnettiin yleisillä ja yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla. Vastemuuttujina olivat taimien määrä sekä elävien taimien ikä ja pituus eri inventointikertojen taimikoealakohtaisina keskiarvoina. Elävien taimien määrä koealoilla saattoi lisääntyä tai vähentyä mittausjakson aikana. Samoin taimien keskipituus saattoi muuttua molempiin suuntiin, koska uusia taimia syntyi, olemassa olevat kasvoivat ja osa saattoi vaurioitua (esimerkiksi latva katketa). Koealojen taimien pituuskehityksen mallinnuksessa on huomattava, että kullakin inventoinnilla on koealoilta käytettävissä taimien keskimääräinen ikä sekä männyn-
taimien (ja myös muiden puulajien taimien) määrä koealalla.

Taimien lukumäärää mallinnettiin huomattavan ylihajonnan vuoksi negatiivisen binomijakauman oletuksella ja taimien pituuden logaritmia (logaritimuunnos normalisoi jakaumaa ja käsittelyiden variansseja) normaalijakauman oletuksella. Koska kokeen rakenne oli hierarkkinen, sekä taimien lukumäärän että keskipituuden mallien satunnaisosa koostui seuraavista sisäkkäisistä tasoista:

alue, koemetsikkö, koeruutu ja taimikoeala (20 m²:n ympyräkoeala). Koska kyseessä oli mittauskertojen (inventoinnit) aikasarja, testattiin ajallisen autokorrelaation (AR1) voimakkuus malleissa, vaikka inventointien väli vaihtelikin (1–3 vuotta). Mikäli perättäisten mittauskertojen havainnot ovat ”lähempänä toisiaan” kuin ajallisesti kauempana olevien havaintojen arvot (residuaalit korreloituneet ajan suhteen), on se syytä huomioida tilastollisessa mallissa korrelaatorakenteen huomioidulla autoregressiivisellä AR(1)-prosessilla, kuten tässä tarkasteltavassa mallinnuksessa tehtiin.

Kappalemäärä- ja pituusmalleissa käsittelyn vaikutus ja erityisesti kappalemäärän kehitys inventointikerrasta toiseen sekä koealan taimien keskipituuden kehitys suhteessa taimien keski-ikäen (onko taimien pituus esimerkiksi suorassa suhteessa niiden ikään) olivat erityisen mielenkiinnon kohteena. Myös muiden taimikoealoilta mitattujen muuttujien, kuten paljastuneen kivennäismaan, hakuutähteiden tai kasvilajien peittävyysien, merkitystä testattiin malleissa.

Taimien (taimikohtainen) selviytymismalli (*survival model*) laadittiin Coxin regressiomallilla, jonka tuloksena saatiin keskimääräinen suhteellinen ja ehdollinen kuolleisuuden ennuste. Tämä ennuste, joka laadittiin jokaiselle taimelle, ottaa huomioon yllä kuvattujen mallien tapaan aineiston hierarkkisyyden: alue, koemetsikkö, koeruutu, intensiivikoeala (1 m²). Mallin tuottamia lukuarvoja tulee tulkita suhteessa toisiinsa, ei absoluuttisina arvoina. Mallin vastemuuttujana on ns. sensoroitu (*censored*) elinaika, joka ottaa huomioon sen, oliko taimi tarkkailujakson (8–11 vuotta koemetsiköstä riippuen) jälkeen elävä (0) vai kuollut (1).

Taimien iän lisäksi elinaikamalleissa testattiin taimien syntypistettä ympäröivää kasvillisuutta tai sen puuttumista. Myös käsittely eli siemenpuuston tiheys testattiin mallissa.

Taimien kappalemäärämalli estimoitiin R-ohjelmointiympäristön kirjastolla MASS käyttäen funktiota glmmPQL (Venables & Ripley 2002). Taimien pituuskehitysmalli estimoitiin R-kirjastolla nlme ja funktiolla lme (Venables & Ripley 2002). Coxin elinaikamalli estimoitiin R-kirjastolla coxme, funktiolla coxme (Therneau 2015a, 2015b).

Tulokset

Männyn luontainen uudistaminen ja taimien alkukehitys

Taimien määrä koealoilla ja myös tutkimusmetsiköissä vaihteli paljon. Kaikissa muissa käsittelyissä paitsi muokatussa 50 runkoa/ha käsittelyssä taimia oli huomattavalla osalla koealoista alle 1200 kpl/ha (ks. mediaanit, taulukko 2). Parhaimmillaan taimia saattoi kuitenkin olla hyvinkin paljon, kappalemääräjakaumien ollessa hyvin vinoja kaikissa käsittelyissä. Alue- ja metsikkötason vaihtelua kuvaa edellä esitetyn mallin alue- ja tutkimusmetsikkövaihtelun (mallin varianssikomponentit) perusteella laskettu luottamusväli esimerkiksi taimimäärälle 2 000 kpl/ha. Hajonnan perusteella laskettu 95 %:n luottamusväli oli 511–7 824 tainta/ha.

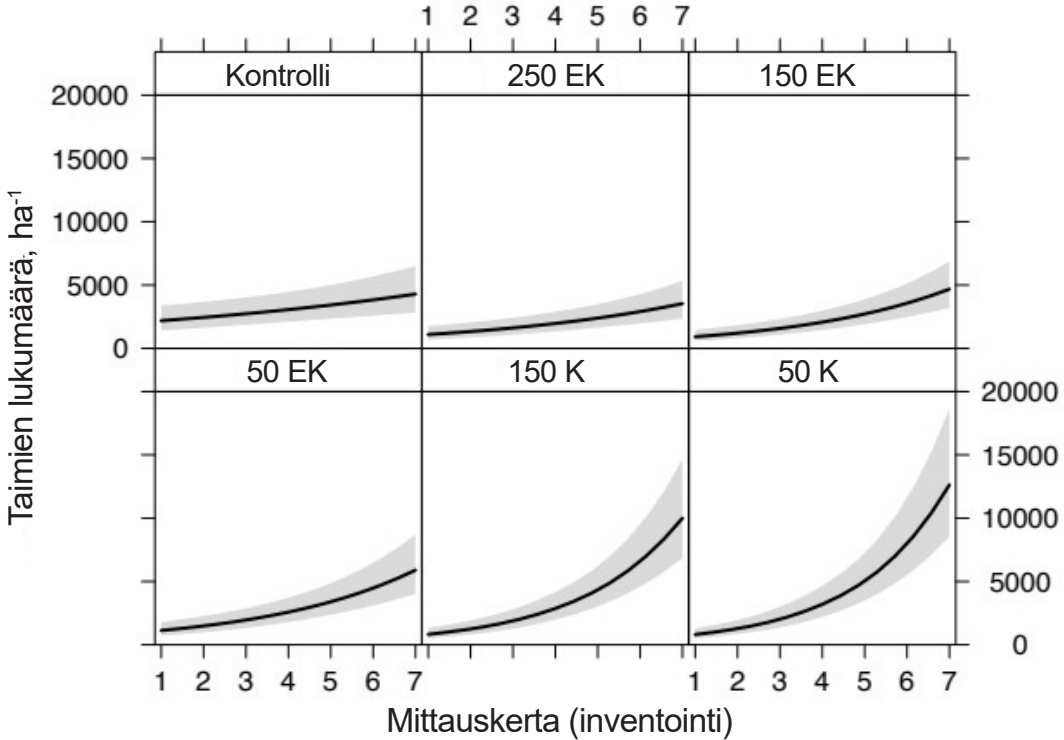
Mallien keskeisimmät ennusteet ja niiden 95 %:n luottamusvälit laskettiin edellä kuvattujen mallien kiinteän osan kertoimilla. Metsien uudistumisen kannalta tärkeimmät muuttujat ovat siementävän puuston tiheys ja uudistumiseen kulunut aika. Siementävän puuston tiheyden ohella taimien keskimääräinen ikä koealalla on tärkeää ottaa mallinuksessa huomioon, kun tarkastellaan alkukehitystä. Taimien syntymistä ennustavassa mallissa on tärkeää tarkastella erityisesti puuston tiheyttä ja ajan kuluva inventointikertaa, ja puuston alkukehitystä kuvaavassa mallissa vastaavasti puuston tiheyden ja taimien iän yhdysvaikutusta.

Männyn luontaista uudistumista ennustavassa mallissa taimettumiseen vaikuttivat runkotiheyden ja inventointikerran lisäksi humuksen paksuus (negatiivisesti) ja muokatun maan osuus (positiivisesti). Siementävän puuston tiheys vaikutti jonkin verran taimettumiseen siten, että harvimmalla siemenpuiden tiheydellä (50 puuta/ha) taimia syntyi tutkimusaikana hieman enemmän verrattuna kontrolliin tai tiheyteen 250 puuta/ha. Maanmuokkauksen taimettumista edistävä vaikutus oli kuitenkin varsin huomattava (kuva 4).

Taulukko 2. Männyn taimien lukumäärät ja vaihtelu käsittelyittäin.

Table 2. Number of pine seedlings (mean, median, minimum and maximum) in different treatments (muokkaamaton = no soil preparation, muokattu = soil prepared).

Käsittely	Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi
Kontrolli	2625	500	0	46500
250, muokkaamaton	1275	0	0	36000
150, muokkaamaton	1580	500	0	35000
50, muokkaamaton	2425	500	0	72000
150, muokattu	4680	500	0	84000
50, muokattu	6605	1500	0	76000



Kuva 4. Männyn taimien määrän kehitys (kpl/ha) tutkimusjakson (seitsemän inventointia) aikana eri käsittelyissä. Kontrolli tarkoittaa alkuperäistä harventamatonta puustoa, lyhenne EK käsittelemätöntä maapohjaa ja K käsiteltyä (äestettyä) maapohjaa. Taimikoealojen taimimäärien ennusteet on muunnettu hehtaarikohtaisiksi käytännön tulkittavuuden parantamiseksi. Muokatun alan osuus ennusteiden laskennassa oli noin 11 % ja humuksen paksuus noin 2,4 cm.

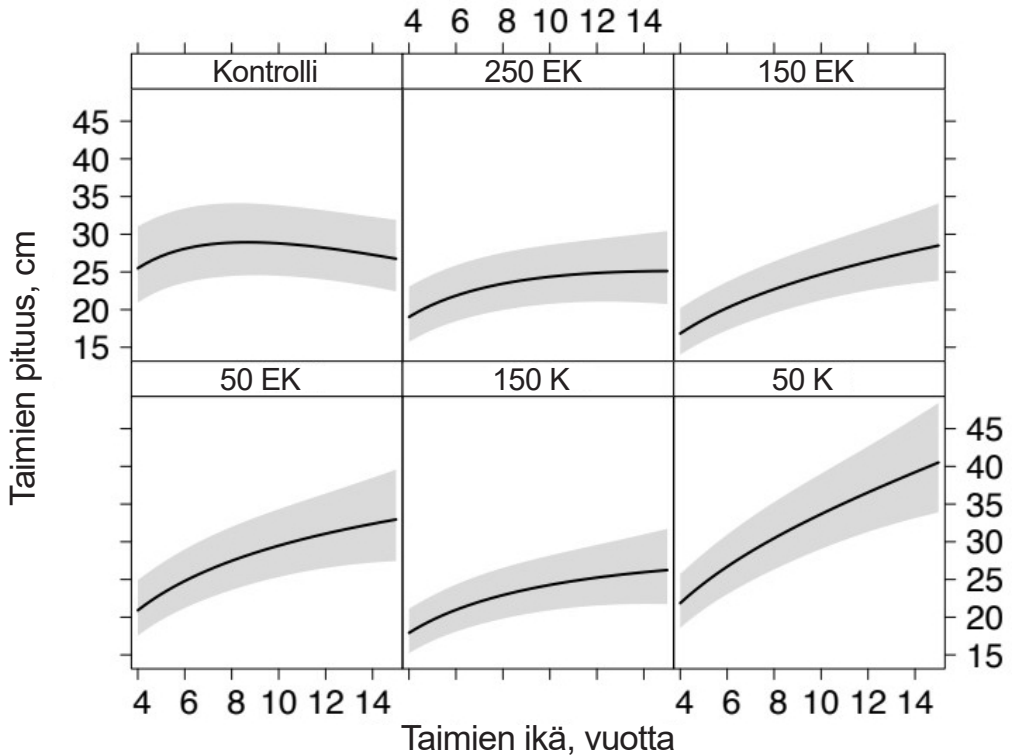
Figure 4. Development of number of pine seedlings (seedlings ha⁻¹) during the study period (7 inventories) in different treatments. EK stands for treatments without soil preparation and K stands for treatments with soil preparation. When computing the predictions, the proportion of prepared soil was set to 11% and humus thickness to 2.4 cm.

Männyn keskimääräistä pituuskehitystä taimikoealoilla selitti taimien inventointiajankohdan keski-ikä ja käsittelyn lisäksi ko. ajankohdan taimien lukumäärä. Keskimäärin 99 % taimista oli männyn taimia. Syntyvät taimet vaikuttavat tietyn inventointiajankohdan taimien keskimääräiseen ikään ja pituuteen. Tulos kertoo koealan taimien keskimääräisen pituuden muutoksen mittausjakson aikana eri käsittelyissä.

Käsittelemättömässä kontrollissa taimien pituus ei ole mittausjakson aikana juurikaan muuttunut, kun otetaan huomioon ennusteiden

luottamusvälit. Myöskään siemenpuuston tiheydellä 250 runkoa hehtaarilla taimien keskipituus ei ole juuri kasvanut mittausjakson aikana. Sitä vastoin harvimman siemenpuuston (50 runkoa/ha) alla taimien keskimääräinen pituus on kasvanut voimakkaasti, varsinkin muokatuilla koealoilla (kuva 5).

Alueen ja metsikön satunnaisvaikutus taimien pituuskasvuun oli huomattavasti vähäisempää kuin taimien kappalemääriin. Alueen ja metsikön vaihtelun (varianssikomponenttien) perusteella laskettu 95 %:n luottamusväli esimerkiksi 40 cm:n taimelle oli 37–43 cm.



Kuva 5. Taimikoealan männyn taimien keskipituuden kehitys (cm) taimien keski-ikä kasvaessa eri käsittelyissä. Lyhenne EK tarkoittaa käsittelemätöntä maapohjaa ja K äestettyä maapohjaa. Figure 5. The development of average seedling length (cm) in the function of average seedling age in different treatments. EK stands for treatments without soil preparation and K stands for treatments with soil preparation.

Taimien kuolleisuus

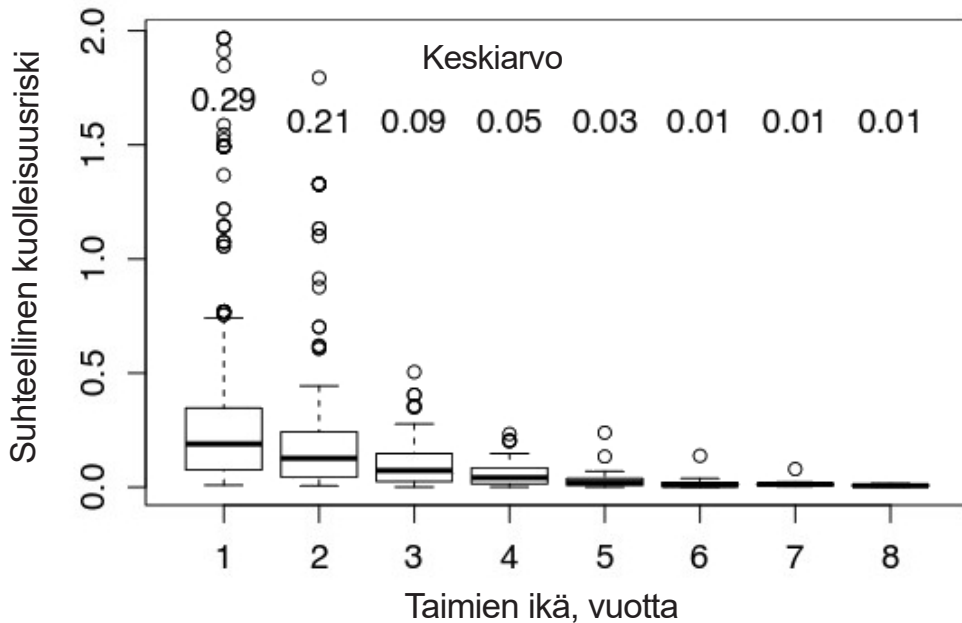
Noin neljäsosa 1 m²:n intensiivikoealoille syntyneistä taimista (yhteensä 628) kuoli seurantajakson aikana. Männyntaimien kuolleisuusriski oli suurin taimien ollessa yhden vuoden ikäisiä (kuva 6). Riski kuolla aleni siten, että toisena vuonna se oli noin 72 % ja kolmantena vuonna noin 30 % ensimmäisen vuoden riskitasoon verrattuna. Kuolleista taimista noin kaksi kolmasosaa kuoli kolmen ensimmäisen vuoden aikana. Viiden vuoden jälkeen kuolleisuusriski pieneni edelleen ja tasaantui noin kolmen prosentin tasoon ensimmäisen vuoden riskitasoon verrattuna.

Kuolleisuusmallissa selittäjinä olivat iän lisäksi taimen syntypisteen laatu ja pohjakerroksen kasvillisuus (päälajiryhmä) mitattuna 3 cm:n säteeltä taimen tyveltä. Suurin suhteellinen kuolleisuusriski oli taimilla, jotka olivat syntyneet paljaalle, kasvittomalle humuspinnalle (taimille ennustettujen kuolleisuusriskien keskiarvo 0,29). Kasvipeitteen sekaan syntyneiden taimien riski oli noin 90 %:n tasolla edelliseen verrattuna. Mineraalimaan painanteeseen tai humuksen ja kivennäismaan rajapintaan syntyneillä taimilla riski oli hieman yli 50 % paljaaseen kasvittomaan humuspintaan verrattuna ja kivennäismaakohoumalle syntyneillä taimilla hieman alle

40 % korkeimpaan kuolleisuustasoon verrattuna, kun tarkastellaan kuolleisuusriskien keskiarvoja.

Jäkäläpeitteen ympäröimillä taimilla oli suurin suhteellinen riski kuolla (arvo keskimäärin 0,54). Pienin kuolleisuusriski pohjakerroksen kasvillisuutta tarkasteltaessa oli rahkasammaleen ympäröimillä taimilla: vain

noin 4 % jäkälien ympäröimien taimien riskitasosta. Karhunsammalten ympäröimillä taimilla kuolleisuusriski oli 31 % ja muiden metsäsammalien (pääasiassa seinäsammalen) ympäröimillä taimilla 48 % jäkälien ympäröimien taimien riskistä, kun tarkastellaan ennustettujen riskien keskiarvoja.



Kuva 6. Suhteellisen kuolleisuusriskin kehitys männyn taimien iän funktiona.

Figure 6. Development of proportional seedling mortality risk as a function of the seedling age.

Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Aineiston edustavuus ja tulosten yleistettävyyys

Lappiin sijoitetut kokeet olivat toisistaan riippumattomia ja sijoitettu eri puolille Lappia. Myös Paltamoon sijoitettu koe, josta käytettiin intensiivikoealoja taimien kuolleisuuden selvittämiseksi, oli riippumaton oma kokeensa. Toistot perustettiin kolmena peräkkäisenä vuotena, jotta yksittäisen vuoden sade- tai muilla ympäristöolosuhteilla ei olisi liikaa vaikutusta tutkimustuloksiin. Kaikkien käsittelyruutujen kasvupaikkatyyppi oli kuivahko kangas, ja tulokset ovat yleistettävissä

samanlaisille kasvupaikoille koko tutkimusalueella. Pitkän ajan keskimääräistä (jakso 1981–2010) lämpösummaa käytettiin paikallistamaan koealoja.

Tulosten tarkastelu

Metsälain vaatimiin tiheystavoitteisiin, eli vähintään 1 200 taimen hehtaari tiheyteen, päästiin mittausjakson aikana kaikissa käsittelyissä. Käsittelyissä 50 kpl/ha ja 150 kpl/ha päästiin myös metsänhoitosuosituksen mukaisiin taimitiheyksiin (n. 5 000 tainta/ha).

Vaikka tiheämpi puusto tuottaa enemmän siemeniä, ja taimiaineksen onkin todettu lisääntyvän siemenpuiden tiheyden kasvaessa (Norokorpi 1983), tiheä puusto voi rajoittaa taimien selviämistä. Tiheä ylispuusto vähentää valoisuutta ja sadantaa metsän pohjakerrokseen (Heiskanen 2003), joten harvempi puusto voi parantaa taimettumisolosuhteita luomalla taimille suotuisan itämis- ja kasvuympäristön (Valkonen 1992). Lehdon (1969) ja Nygrenin (2003) mukaan siementen itäminen sekä taimen alkukehitys vaativat riittävän lämpötilan ja kosteuden. Heiskasen (2003) mukaan puuston tiheys ja varjostus alentavat maan lämpötilaa, mikä heikentää taimettumista. Tiheämmässä siemenpuuasennossa latvuspidäntä on suurempi, jolloin sadetta ei tule maahan yhtä paljon kuin harvemmissä tiheyksissä. Harvempi puusto myös tuuheettaa latvustoa, mikä puolestaan lisää siemensatoa (Barnett & Haugen 1995; Hyppönen 2005). Edellä luetellut tekijät voivat selittää, miksi alhaisemmat tiheydet (50 ja 150 kpl/ha) taimettuivat tässä tutkimuksessa paremmin kuin tiheämmät eli 250 kpl/ha ja harventamaton kontrollikäsitteily.

Tulokset osoittivat selvästi, että maanmuokkaus varmisti taimettumisen. Riittävän taimettumisen raja saavutettiin jo mittausjakson puolivälin tienoilla varsinkin harvimmalla siemenpuustolla. Maanmuokkauksen ei tarvitse paljastaa kivennäismaata kovin paljon kuivilla tai kuivahkoilla kankailla; jo noin 10 %:n paljastuneen kivennäismaan osuus lisää riittävän taimettumisen todennäköisyyttä merkittävästi (Hallikainen ym. 2019). Havaittu parempi taimettuminen äestetyillä aloilla oli odotettu tulos, sillä jo pitkään on tiedetty paljastetun kivennäismaan olevan hyvä kasvualusta, etenkin jos vertailukohtana on paksu humus yhdistettynä kilpailevaan kasvipeitteeseen. Esimerkiksi Lehto (1956) arvioi tutkimuksessaan, että pintakasvillisuuden ja humuksen paksuus vaikuttaa taimettumiseen

voimakkaammin kuin siemenpuuston tiheys. Sammal- ja jäkäläpinnat ovat huonoja taimettumaan (Hertz 1934; Yli-Vakkuri 1961), koska sammal- ja jäkäläpeite saattaa pidättää vähäisen sademäärän kokonaan ja haihduttaa sen suhteellisen nopeasti (Yli-Vakkuri 1961). Oinosen (1956) mukaan yhtenäinen ja paksu sammalpinta on huono itämisalusta, kun sen alla on raakahumusta. Maanmuokkaus myös nostaa maanpinnan lämpötilaa, ja koska lämpösumma vaikuttaa uudistamistulokseen positiivisesti (Hyppönen 2005), voi paljastunut kivennäismaa suosia taimettumista myös tätä kautta. Paras taimettumistulos saatiin yhdistämällä harva puusto (50 runkoa/ha) ja maankäsittely. Tämä kertoo siitä, että aluskasvillisuuden ja/tai humuskerroksen ja emopuuston vaikutus on samansuuntainen. Aluskasvillisuus voi tukahduttaa sirkkataimet ja estää siementen pääsyn sopivalle itämisalustalle kivennäismaahan, minkä lisäksi emopuusto heikentää sirkkataimien kehittymistä valo- ja juuristokilpailulla (Nygren & Saarinen 2001). Maankäsittelyn vaikutus taimettumisen tehostajana korostuu, kun tarkastellaan taimettumista ajan funktiona. Jos taimettumisen tavoitteena pidetään metsänhoitosuosituksen mukaisen hyvän uudistumistuloksen ylintä rajaa (5000 taime/ha), niin äestetyillä aloilla, joilla puusto on harvennettu tiheyteen 50 runkoa hehtaarilla, tähän tavoitteeseen päästään noin viiden vuoden kuluttua kokeen perustamisesta (mittauskerta 5 kuvassa 4). Käsittelemättömässä kontrollissa ja tiheyksillä 250 ja 150 runkoa hehtaarilla tätä tasoa ei saavuteta tutkimusjakson aikana (eli 11 vuoden kuluessa kokeen perustamisesta).

Puuston harvennus ja maankäsittely vaikuttivat selvästi myös taimien pituuskasvuun. Selvimmin tämä kävi ilmi käsittelemättömillä kontrolliruuduilla, joilla taimet eivät (keskimäärin) kasvaneet lainkaan tutkimusjakson aikana. Voimakkaasti harvennetuilla ja maan-

käsittelyillä aloilla taimet olivat noin 6 vuoden iässä samanpituisia kuin 14 vuotta vanhat taimet kontrolliruuduilla ja 250 runkoa/ha käsittelyruuduilla. Tämäkin havainto on yhtäpitävä aikaisempien tutkimusten kanssa, sillä Pohjois-Suomessakin, jossa metsät ovat harvoja, latvuston on havaittu rajoittavan taimien pituuskasvua (Hyppönen & Hyvönen 2000). Myös juuristokilpailun on todettu vaikuttavan taimien pituuteen, jopa enemmän kuin valon puutteen (Aaltonen 1919; Hagner 1962; Lehto 1969; Hallikainen ym. 2007). Maanmuokkaus parantaa yleensä taimien pituuskasvua (esim. Hyppönen & Kemppe 2001; Varmola ym. 2004; Hyppönen ym. 2008). Maanmuokkauksen on havaittu joissakin tutkimuksissa myös heikentävän pituuskehitystä, koska muokkaus tuhoaa aina jonkin verran jo olemassa olevia taimia, ja kuluu useita vuosia ennen kuin tilanne palautuu ennalleen (Hyppönen 2002; Hyppönen ym. 2002; Hyppönen 2005). Taimia tuhoutuu toki myös luonnollisista syistä ilman mitään käsittelyvaikutuksia. Taimien suuri kuolleisuus paljastui myös tämän tutkimuksen tuloksissa (kuva 6) – huomattava osa taimista tuhoutuu muutaman ensimmäisen vuoden aikana.

Johtopäätökset

Lapissa kuivahkojen kankaiden männiköt uudistuvat luontaisesti tarpeeksi hyvin, jotta metsälain vaatimat rajat (vähintään 1 200 tainta/ha havupuuvaltaisessa taimikossa 20–25 vuodessa) saavutetaan. Mikäli tavoitellaan metsänhoitosuosituksen mukaista taimikon tavoiteteheyttä (4 000 – 5 000 tainta/ha) korkealaatuisen tukkipuun takaamiseksi, siihen päästää harventamalla puusto hyvin harvaksi tai tekemällä maankäsittely. Samalla varmistetaan myös taimien kasvu alkuvaiheessa. Taimien heikko kasvu tiheimmillä käsittelyruuduilla (kontrolli ja 250 runkoa/ha) viittaisi siihen, että ylispuustoa ei voida pitää kovin tiheänä, jos halutaan varmistaa alikasvostai-

mikon kasvu. Tässä tutkimuksessa taimia on kuitenkin seurattu vain 11 vuotta. Taimien elossasäilymisen ja kasvun seurantaa tulisi jatkaa vielä ainakin 5–10 vuotta, jotta voitaisiin tehdä arvioita metsiköiden jatkekehityksestä.

Kiitokset

Kiitämme Metsähallitusta, jonka hallinnoimalla maa-alueella koemetsiköt sijaitsevat. Pekka Välikangas, Pasi Aatsinki, Raimo Pikkupeura, Tarmo Aalto, Pekka Närhi, Eero Siivola, Aarno Niva, Jouni Väisänen ja Jukka Lahti muiden muassa tekivät maastomittaukset. Merja Arola esikäsitteli aineiston tilastollista testausta varten. Tämä koe perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) rahoituksella ja sitä jatkettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) strategisella rahoituksella projekteissa ”Metsän luontaisen uudistumisen ja eriarokenteisuuden hyödyntäminen metsätaloudessa” (Forest renewal by natural methods, FORWARD) sekä ”Tools for natural regeneration in sustainable forest management” (TRANSFORM).

Lähteet

Aaltonen, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa, I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im Finnischen Lappland, I. Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja 1. 375 s.

Barnett, J. P., Haugen, R. O. 1995. Producing seed crops to naturally regenerate southern pines. United States department of agriculture, Forest service. Research paper SO-286. 10 s.

Eskelinen, T. 2000. Männyn luontainen uudistaminen Länsi-Lapissa. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 27. 58 s.

Hagner, S. 1962. Naturlig förnygring under skärm. En analys av förnygringsmetoden, dess möjligheter och begränsningar i mellannorrländskt skogsbruk. Summary: Natur al regeneration under shelterwood stands. An analysis

of the method of regeneration, its potentialities and limitations in forest management in middle North Sweden. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut*, 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. <https://www.silvafennica.fi/pdf/article308.pdf>

Hallikainen, V., Hökkä, H., Hyppönen, M., Rautio, P. & Valkonen, S. 2019. Natural regeneration after gap cutting in Scots pine stands in northern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(2), 115–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1557248>

Heiskanen, J. 2003. Maaperän fysikaaliset ominaisuudet. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), *Metsämaa ja sen hoito*, s. 39–62. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.

Hertz, M. 1934. Tutkimuksia kasvualustan merkityksestä männyn uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. *Communicationes Insitututi Forestalis Fenniae* 20. 98 s.

Hyppönen, M. 2002. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä Lapissa. Summary: Natural regeneration of Scots pine using the seed tree method in Finnish Lapland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 844. 69 s.

Hyppönen, M. 2005. Metsänuudistamisen perusteita. Julkaisussa: Hyppönen, M., Hallikainen, V. & Jalkanen, R. (toim.). *Metsätaloutta kairoilla – Metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa*, s. 35–42. Metsäkustannus.

Hyppönen, M., Hallikainen, V., Niemelä, J. & Rautio, P. 2013. The contradictory role of understory vegetation on the success of Scots pine regeneration. *Silva Fennica*, 47(1), 1–19. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article903.pdf>

Hyppönen, M., Heikkinen, H. & Hallikainen, V. 2008. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen ja taimikon alkukehitykseen Etelä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja*, 4/2008, 269–279.

Hyppönen, M. & Hyvönen, J. 2000. Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapin yksityismetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja*, 4/2000, 589–602.

Hyppönen, M., Hyvönen, J., Valkonen, S. 2002. Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen Lapin yksityismetsissä 1960-, 1970- ja 1980-lukujen siemenpuuhakkuissa. *Metsätieteen aikakauskirja*, 4/2002, 559–574.

Hyppönen, M. & Kemppe, T. 2001. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen Etelä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja*, 1/2002, 19–27.

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(5), 425–439. <https://doi.org/10.1080/02827589950154131>

Karlsson, M., Nilsson U. & Örlander, G. (2002). Natural regeneration in clear-cuts: Effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(2), 131–138. <https://doi.org/10.1080/028275802753626773>

Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiiriin pohjoispuolella. Referat: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreis. *Acta Forestalia Fennica*, 14(3). 98 s.

Lehto, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. *Acta Forestalia Fennica*, 66(2). 106 s.

Lehto, J. 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuuppuumenetelmällä. *Communicationes Insitututi Forestalis Fenniae*, 67(4). 140 s.

Metsäläki. 20.12.2013/1085. 1996. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093#a27.6.2014-567>

Niemistö, P., Lappalainen, E. & Isomäki, A. 1993. Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys pitkitetyn luontaisen uudistamisvaiheen aikana. *Folia Forestalia* 826. 26 s.

Norokorpi, Y. 1983. Männyn luontainen uudistaminen Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, 105, 57–71.

Nygren, M. 2003. Metsäpuiden siemenopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 882. 144 s.

Nygren, M. & Saarinen, M. 2001. Itäminen ja taimettumisalusta. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.), Onnistunut metsänuudistaminen, s. 83–90. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.

Oinonen, E. 1956. Männiköiden luontaisen uudistumisen edellytyksistä Lapin kangasmilla eräiden taimivaroja selvittävien inventointien valossa. Metsätaloudellinen Aikakauslehti, 73, 225–230.

Therneau, T. 2015a. Mixed effects Cox models. <https://cran.r-project.org/web/packages/coxme/vignettes/coxme.pdf>

Therneau, T. M. 2015b. coxme: Mixed Effects Cox Models. R package version 2.2-5. <https://CRAN.R-project.org/package=coxme>

Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. Summary: Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland. Folia Forestalia 791. 84 s.

Valtanen, J. 1984. Männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuudet. Metsäntutkimuspäivä Oulussa 1984. Muhoksen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, 158, s. 7–50. <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/520718>

Valtanen, J. 1998. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 693. 77 s.

Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä. 1308/2013. 2013. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20131308>

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 Forests Research, 19(5), 424–441. <https://doi.org/10.1080/02827580410030154>

Venables, W. N. & Ripley, B. D. 2002. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer. New York. 498 s.

Wardle, D., Lagerström, A., Nilsson & M.-C. 2008. Context dependent effects of plant species and functional group loss on vegetation invasibility across an island area gradient. Journal of Ecology, 96(3), 1174–1186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01437.x>

Yli-Vakkuri, P. 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensikehityksestä 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. <https://doi.org/10.2307/2261600>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. 215 s. https://www.metsanhoitosuositukset.fi/wp-content/uploads/2019/09/Metsanhoidon_suositukset_Tapio_2019_verkko_1.2.pdf

Örlander, G. & Nilsson, U. 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage and seedling survival. Scandinavian Journal of Forest Research, 14(4), 341–354. <https://doi.org/10.1080/02827589950152665>

Nummettumisherkät kangasmaat metsänuudistamisen haasteena Lapissa

Yrjö Norokorpi

yrjo.norokorpi@pp1.inet.fi

Tiivistelmä

Lapissa mäntymetsät voidaan yleensä uudistaa luontaisesti melko helposti. Keski-Lapin alueella, etenkin Pohjois-Sallasta Savukosken kautta Saariselän yli Etelä- ja Kaakkois-Inariin ulottuvalla vyöhykkeellä on kuitenkin kangasmaiden siemenpuualoja, joiden uudistaminen ei ole onnistunut. Aikaa uudistushakkuusta on voinut kulua kymmeniä vuosia. Taimia on syntynyt, mutta niitä tuhoutuu vähitellen. Kanervan peittävyys kenttäkerroksessa on vahvistunut ja alue saanut kanervanummen piirteitä. Artikkelissa tarkastellaan uudistamisongelman ekologisia perusteita kirjallisuuden ja omien havaintojen perusteella. Ongelma-alueiden kasvupaikkatyyppi on valtaosin kuiva kangas. Alueille on tyypillistä podsolimaannos, jossa E-horisontti eli huuhtoutumiskerros on hyvin ohut tai jopa puuttuu ja B-horisontti eli rikastumiskerros on paksu ja tummanruskea tai harmaa sisältäen runsaasti alumiini- ja rautayhdisteitä. Kanervan runsaus ilmentää hapanta ja niukkaravinteista maaperää. Niissä oloissa kanerva on erittäin vahva kilpailija, joka pystyy leviämään hakuussa vapautuvaan tilaan. Heikosti puskuroituneessa maaperässä ravinteiden huuhtoutuminen ja happamoituminen voimistuvat, jolloin alumiini, rauta ja muut raskasmetallit muuttuvat liukoisempaan muotoon. Hakuun ja ravinteisuuden muutoksen seurauksena puiden mykorrhizasientien ja hienojuurten määrä vähenee ja taimien kasvu heikkenee tai estyy. Nummettuneen alueen elvytyskokeessa käytettiin rauduskoivun hajakylvöä. Aidatuilla koealoilla, missä koivu pääsi kehittymään ja poronjäkäläkerros palautumaan, männyntaimien kunto ja kasvu alkoivat kohentua. Siemenpuu- tai avohakkuuseen liittyvä negatiivinen muutosprosessi eli pienilmaston lämpö- ja kosteusolojen äärevöityminen, maaperän happamuuden lisääntyminen, ravinteisuuden heikkeneminen ja kanervoittuminen voidaan estää pitämällä metsä jatkuvasti puustoisena. Jatkuvan kasvatuksen yläharvennus sopii hyvin myös nummettumisherkille maille. Metsätalouden tuotto korkealla sijaitsevilla, karuilla maille on alhainen, joten hakkuiden hyötyä suhteessa muihin käyttömuotoihin ja suojeluun tulee tarkastella kriittisesti.

Johdanto

Lapissa männiköt voidaan yleensä uudistaa melko helposti siemenpuumenetelmällä etenkin käytettäessä maanpinnan käsittelyä. Uudistusalan koon pienetessä taimettuminen runsastuu ja nopeutuu. Reunametsä lisää siemennystä ainakin kahden puun pituuden etäisyydelle uudistusosalalla ja pienilmasto tasoituu suotuisammaksi taimien kehityksen kannalta (Norokorpi 1981, 1982, 1983). Keski-Lapin ja Inarin alueella on kuitenkin kangasmaiden siemenpuualoja, joiden uudistaminen ei ole edennyt tavoitteen mukaisesti. Aikaa uudistushakkuusta on voinut kulua kymmeniä vuosia. Taimia on syntynyt, mutta niitä tuhoutuu eikä uudistuminen onnistu (Rautio ym. 2014; Norokorpi 2018).

Ongelmien ratkaisemiseksi on viime vuosina selvitetty muun muassa pintakasvillisuuden vaikutusta uudistamistulokseen Pohjois-Savukoskella (Niemelä 2002; Hallikainen ym. 2007; Hyppönen ym. 2013; Rautio ym. 2014). Alueiden näkyvin piirre on kanervan hallitseva asema pintakasvillisuudessa. Aina-kin paikoin voidaan käyttää termiä kanervanummi, kun alue ei ole uudistunut ja kanervan peittävyys on vahvistunut vuosien kuluessa. Nummi tarkoittaa yleiskielessä hiekkaista tai soraista, puutonta tai lähes puutonta varpuvaltaista aluetta.

Tarkastelen seuraavassa uudistamisongelman ekologisia perusteita kirjallisuuden ja omien havaintojen perusteella. Myös aihe-

seen liittyvää kokeellista tutkimusta olen tehnyt yhdellä kohteella. Erityisesti kiinnitän huomiota tiettyihin maaperän ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat keskeisesti suoraan ja välillisesti uudistamisen epäonnistumiseen. Esitän myös keinoja ongelman ratkaisuksi.

Ongelma-alueiden sijainti ja kasvupaikkatyyppi

Nummettumisherkkiä kanervakankaita esiintyy paikoin eri puolilla Keski-Lappia ja Saariselän pohjoispuolisella Inarin metsätalousalueella. Laaja ongelma-alue sijaitsee Savukosken pohjoisosissa (Norokorpi 1998). Alueiden kasvupaikkatyyppi on valtaosin kuiva kangas ja metsätyyppi on MCCIT eli mustikka-kanerva-jäkälätyyppi. Myös nimeä varpu-jäkälä-tyyppi (Ericaceae-Cladina-tyyppi, ErCIT) käytetään. Jossain määrin samanlaista ongelmaa ilmenee karuimmilla kuivahkon kankaan kasvupaikoilla. Tyyppillisesti Lapin kuivilla kankailla varpukasvillisuus on harvaa ja matalaa käsittäen vaihtelevassa määrin kanervaa, variksenmarjaa, puolukkaa, mustikkaa ja muita varpuja sekä pohjakerroksessa jäkälää ja sammalia. Jäkälät ovat keskimäärin hiukan runsaampia kuin sammalet, mutta jäkäläpeite ei ole koskaan yhtenäinen (Hotanen ym. 2018). Ongelma-alueilla kanerva on varvuista vallitsevassa asemassa.

Metsätalousalueiden ongelmalliset kanervakankaat sijaitsevat yleensä melko korkealla, yli 200 metriä mpy, mutta Inarissa myös hiekan alempana. Vastaavanlaisia kasvupaikkoja on lisäksi havumetsävyöhykkeen boreaalisilla tuntureilla eli puolituntureilla keskimäärin korkeudella 400–450 metriä mpy esiintymisen vaihteluvälin ollessa 360–540 metriä mpy. (Haapasaari 1988; Norokorpi ym. 2008). Niitä esiintyy myös etelämpänä Koillismaalla asti. Boreaalisilla tuntureilla pintakasvillisuus vastaa metsävyöhykkeen kasvillisuutta. Põsion Riisitunturin vähäpuisella lakialueella kanervakankaita on poikkeuksellisen paljon.

Niiden osuus lakialueen kasvillisuudesta on 40–70 %. Tunturien kanervakankaiden kokonaispinta-alan arvioidaan Haapasaaren (1988) aineiston perusteella olevan noin 2 000 ha (Norokorpi ym. 2008). Nummettumisherkkiä maita on alemmilla korkeuksilla huomattavasti enemmän, mutta tarkkaa pinta-alaa ei ole tiedossa.

Vaikka boreaalisilla tuntureilla kasvukausiset lämpöolot riittäisivät metsän kasvuun, sulkeutunutta metsää ei muodostu. Keskeisin vaikuttava tekijä on talvikautinen hygri- sesti eli kosteusoloiltaan mereinen ilmasto, mistä syystä jokavuotinen tykky madaltaa metsänrajaa aina Saariselän–Pallastunturien leveyksille asti (Norokorpi & Kärkkäinen 1985). Tykkyraja on sitä alempana, mitä lähempänä Perämerta alue sijaitsee, ja nousee sieltä pohjoiseen ja itään päin. Tarkemmin ei ole kuitenkaan selvitetty, mikä osuus maaperätekiöillä ja nummetumisella on metsänrajaa alentavana tai metsänrajan etenemistä estävänä tekijänä.

Taimettuminen ja taimien kehitys

Pisimpään uudistumattomana tiedetään olevan Muonion eteläosissa sijaitsevan Käkinivanvaaran. Maaston korkeus on siellä 240–260 metriä ja kasvupaikka kuiva kangas. Alueen männikkö on hakattu siemenpuuasentoon 1950-luvun alkupuolella eli noin 65 vuotta sitten. Männyn taimettumista ilmenee edelleen, mutta taimia tuhoutuu suunnilleen samaa vauhtia enimmäkseen alle metrin pituisena. Jotkin yksilöt ovat päässeet kasvaamaan usean metrin mittaisiksi. Ainakin osa niistä on syntynyt aikoinaan alikasvoksena. Taimissa on yleisesti erilaisia kasvuhäiriöitä, ranganvaihdoksia ja neulasten epämuodostumista. Niissä esiintyy huonon kunnan vuoksi myös versosurmaa ja hankirajaa lyhyemmissä taimissa talvihometta.

Pohjois-Savukosken alueella on viime vuosina inventoitu ja seurattu siemenpuualo-

jen uudistumista. Inventointien mukaan männyn taimista puolet on tuhoutunut tai tuhoutumassa 15 vuoden ikään mennessä, minkä vuoksi uudistaminen ei ole onnistunut tai on erittäin hidasta (Niemi 2002; Hallikainen ym. 2007; Hyppönen ym. 2013; Rautio ym. 2014). Myös vanhoja, usean kymmenen vuotta uudistumattomana olleita aloja esiintyy seudulla. Selviä yksittäisiä syitä uudistamisen epäonnistumiseen ei ole voitu todeta, vaan ongelmat ovat kokonaisuutena monimutkaisia. Savukosken ongelma-alue sijaitsee metsänrajan läheisissä oloissa pääpiirteissään 200–300 metrin korkeudella, missä keskimääräinen tehoisa lämpösusma on 650–750 d.d. Maaston korkeus ja alhainen lämpösusma ovat yleisiä metsän uudistamista heikentäviä tekijöitä Lapissa (Norokorpi 1983, 1987). Lämpösusman pienetessä siementuotanto vähenee, taimettuminen ja taimien kasvu hidastuvat ja alttius erilaisille tuhonaiheuttajille kasvaa.

Tutkimukset uudistusalojen pintakasvillisuuden vaikutuksista ovat osoittaneet, että alkuvaiheessa kanervan peittävyys vaikuttaa myönteisesti männyn taimettumiseen mutta hidastaa myöhemmin taimien kasvua (Hallikainen ym. 2007; Hyppönen ym. 2013; Rautio ym. 2014). Luontaisen uudistamisen tutkimuksissa yleinen havainto on, että sammalkerroksen peittävyys ja humuskerroksen vahvuus korreloivat negatiivisesti ja paljastuneen mineraalimaan osuus positiivisesti taimettumistulokseen. Edelleen Savukoskella on todettu, että variksenmarjalla ja muilla kuin porojäkälillä on taimettumista heikentävä ja kuolleisuutta lisäävä vaikutus, kun taas puolukan varvusto vaikuttaa päinvastoin (Rautio ym. 2014). Vähäinen hakkuutähteen määrä siemenpuualalla ei vaikuta uudistamistulokseen, mutta hakkuutähteen määrän runsastuessa taimettuminen heikkenee.

Nummettumisherkkien alueiden maaperä

Nummettumisherkillä alueille yhteinen ominaisuus on kanervan runsaus. Kanerva indikoi maaperän ominaisuuksia, erityisesti niukkaravinteisuutta ja happamuutta, missä oloissa se on vahva kilpailija muulle kasvillisuudelle. Savukosken pohjoisosissa kallioperä on pääasiassa gneissejä (Kujansuu 2005). Maaperä on vastaavasti karua ja vähäravinteista, kuten muuallakin tiedossa olevilla nummettumisherkillä alueilla, joilla kallioperä on graniittia, granaattigneissejä, granuliittia tai kvartsiittia. Alueet sijaitsevat Keski-Lapin ns. rapakalliovyöhykkeellä, jolle on ominaista rapautunut, mekaanisesti rikkoutunut ja kemiallisesti muuttunut kallio. Rapakallioita peittää useimmiten vain ohut, enimmillään muutaman metrin paksuinen irtomaakerros, joka on yleensä moreenia (Kujansuu & Kejonen 2005). Rapautuman väri vaihtelee valitsevan kivilajin ja rapautumisasteen mukaan tummanharmaasta, lähes mustasta, kellertävän ja punertavan ruskeaan. Rapautumisessa on eniten uuttunut kalsiumia ja natriumia, mutta alumiinin määrä on pysynyt lähes muuttumattomana. Ferrorauta on suureksi osaksi hapettunut ja sen määrä on suurehko.

Ongelma-alueille on tyypillistä, että E-horisontti eli huuhtoutumiskerros on hyvin ohut tai jopa puuttuu. Savukoskella B-horisontti eli rikastumiskerros on tummanruskea, kun taas Muonion Käkinivanvaarassa väri on harmaa. Moreenin värierot johtuvat raudan hapettumisasteesta ja pohjaveden pinnan tasosta aikoinaan maannoksen syntyvaiheessa. Voimakas ruskea väri aiheutuu siitä, että rauta on hapettunut pohjaveden pinnan yläpuolella, harmaa kerros taas on hapettunut pohjaveden pinnan alapuolella. Metallien liukoisuusominaisuudet poikkeavat rapakalliossa ratkaisevasti tavallisen moreenin ominaisuuksista (Salminen 1976). Ongelma-alueilla ei ole kuitenkaan tarkemmin selvitetty, missä mää-

rin niillä on tavallista ja toisaalta rapakalliosta muodostunutta moreenia.

Podsolimaannoksen horisontit kehittyvät pääasiassa raudan ja alumiinin kulkeutuessa pintaosista B-horisonttiin. E-horisontin paksuus korreloi positiivisesti lämpösunnan ja vuoden keskilämpötilan kanssa: lämpösunnan pienessä kerros ohenee (Starr & Tamminen 1994). Se voi osaltaan selittää ohutta E-horisonttia. Myös maannoksen ikä eli jääkauden jälkeisen ja merenpinnan yläpuolisen ajan pituus voi vaikuttaa osaltaan ohueen E-horisonttiin. Podsoloituminen on aluksi nopeaa noin 2500 vuotta ja hidastuu sen jälkeen ja lähes pysähtyy (Starr 1991). Aaltosen (1952) mukaan myöhemmin horisonttien E ja B raja alkaa nousta kohti maanpintaa rauta- ja alumiiniyhdisteiden kertyessä B-horisontin yläpuolelle. Hyvin ohuen E-horisontin ja paksun B-horisontin päällekkäisyydessä näyttäisi kuitenkin olevan ristiriitaa edellä mainitun podsolimaannoksen syntyteorian kanssa siinä, mistä rauta- ja alumiiniyhdisteitä olisi voinut kertyä niin suuria määriä B-horisonttiin kuin värin perusteella on havaittavissa. Huomiota kiinnittää myös se, että usein päällekkäisten horisonttien raekoostumukset poikkeavat toisistaan. Podsolin syntyä ja ominaisuuksia ongelma-alueilla tulisikin selvittää lähemmin.

Pohjaveden ominaisuudet ilmentävät kallioperän ja siitä syntyneen maaperän mineraalikoostumusta (Väisänen 2005). Pohjavedet ovat erittäin happamia vyöhykkeellä, joka ulottuu Pohjois-Sallasta Savukosken kautta laajalti Saariselän alueelle ja sen pohjoispuolelle Etelä- ja Kaakkois-Inariin. Vyöhykkeellä pohjaveden sähkönjohtavuus ja alkaliteetti sekä kalsiumin pitoisuus ovat alhaiset. Alkaliteetti ilmaisee puskurointikykyä happamoitumista vastaan. Alhainen alkaliteetti on silikaattimineraalien rapautumisen ja erilaisten humushappojen muodostumisen luonnollinen seuraus (Väisänen 2005). Kuolleen orgaanisen aineen epätäydellisessä

hajoamisessa syntyy humus- ja fulvohappoja sekä humiineita, jotka happamoittavat maaperää. Alumiini mobilisoituu mineraaleista sen jälkeen, kun helppoliukoiset emäskationit, kuten kalsium, ovat ensin liuenneet ja pH alentunut (Derome 1989). Alumiini on yksi silikaattimineraalien pääkomponenteista, ja se on happaman maaperän ja luonnonvesien haitallisimpia alkuaineita monien elävien organismien kannalta. Alumiinia on runsaasti maannoksen humus- ja rikastumiskerroksessa. Se muodostaa maassa sekä vaikealiukoisia että liukoisia komplekseja humuksen kanssa (Väisänen 2005). Rauta on maan pintakerroksen runsain raskasmetalli. Rautasulfidit, magneettikiisu ja myös rikkikiisu hajoavat hapettavassa ympäristössä helpoimmin. Kuten alumiini myös rauta ja muut raskasmetallit muuttuvat liukoisempaan muotoon happamuuden kasvaessa (Derome 1989). Pohjois-Savukosken luontaisesti happaman ja happamoitumisherkan maaperän rasitteena ovat olleet myös itärajan takaa tulleet ja ajoittain edelleen tulevat happamoittavat rikkipäästöt (Nordlund 2000).

Maan happamoituminen aiheuttaa vaurioita hienojuuristossa, mikä ilmenee elävien juurten vähenemisenä (Fritze ym. 1994). Kohonneet liukoisen alumiinin sekä raskasmetallien pitoisuudet estävät hienojuurten ravinteiden ottoa muun muassa vähentämällä mykorrhitsasientien kasvua (Väre 1988). Nummettumisherkillä alueilla, kuten Muonion Käkinivanvaarassa, esiintyvät taimien kasvuhäiriöt ilmentävät epätasapainoa ravinteisuudessa. Sitä aiheuttaa todennäköisesti joidenkin keskeisten ravinteiden puute tai se, etteivät ne ole käyttökelpoisessa muodossa maaperässä. Muun muassa fosforin saatavuus kivennäismaalla riippuu pH:sta, joka säätelee fosforin pidättymistä alumiini- ja rautahydroksideihin ja jopa sitoutumista happamassa maaperässä (< pH 4) alumiinin kanssa (Mälkönen 2003).

Hakkuun vaikutus mikroilmastoon

Metsikköilmastolle ovat ominaisia suhteellisen tasaiset lämpö- ja kosteusolot (Norokorpi 1983). Esimerkiksi metsänrajan läheisessä metsikössä (67°N) heinä-elokuun aikainen tulosäteily on 37 % aukean alan saamasta säteilystä selkeällä säällä (Perttu 1974). Kun metsään hakataan aukko tai siemenpuuala, tuuli ja ilman sekoitusliike eli vaihto sekä auringon säteily voimistuvat: lämpötilan vaihtelu suurenee ja kosteus pienenee (Odin 1974). Tuuli saavuttaa maksiminopeutensa, kun etäisyys metsänreunaan kasvaa 20–30 kertaa suuremmaksi kuin reunametsän korkeus. Metsän ollessa 15 metriä korkeaa tuulen nopeus on metsikössä 20 % maksiminopeudesta, minkä se saavuttaa noin 400 metrin etäisyydellä avoalalla tasaisella maalla (Odin 1974).

Lapin ilmaston humidisuudesta huolimatta monina kesinä on kuivia jaksoja, jotka voivat ehkäistä siemenen itämistä ja haitata pienten taimien kehitystä (Aaltonen 1919; Norokorpi 1983). Veden puute alentaa myös maaperän viljavuutta (Tamminen & Mälkönen 2003). Taimien alkukehitykselle on tärkeää, että siemenvuotta seuraa vähintään kolme suotuisaa, riittävän kosteaa kesää (Oinonen 1958). Lassilan (1920) mukaan männyn siemen itää hyvin Pohjois-Lapin oloissa vain sateisina kesinä. Avoalan olot ovat siten taimettumisen kannalta huomattavasti riskialttiimmat kuin puuston suojassa. Jopa varvikko antaa suojaa ja parantaa taimettumisololoja (Aaltonen 1919; Kangas 1931; Hallikainen ym. 2007). Peitteisessä varvikossa säteilyn kannalta toimiva pinta nousee kasvillisuuskerroksen yläpinnalle. Tällöin kasvi- peite suojelee maanpintaa auringon tulosäteilyn ja tuulen kuivaavalta vaikutukselta sekä pienentää lämpötilan vaihtelua kasvillisuuden sisällä (Franssila 1949). Sen sijaan tiheän varvikon yläpinnalla lämpöolot äärevöityvät enemmän kuin paljaalla tai ohuen kasvilli-

suuskerroksen peittämällä maalla: päivällä auringonpahteessa on kuumaa ja yöllä ilma jäähtyy nopeasti ulossäteilyssä. Siten kanervoittuminen heikentää osaltaan taimien kasvuoloja. Ilmastonmuutoksen arvellaan lisäävän kasvukauden aikaisia lämpimiä ja kuivia jaksoja Lapissa.

Hakkuun vaikutus maaperään ja kasvillisuuteen

Maanpinnan ajoittaisesta kuivumisesta on haittaa orgaanista ainesta hajottavalle pieneliöstölle ja juurisienille. Juuret kasvavat kylmässä maaperässä lähellä maanpintaa ja ovat siten alttiina kuivumiselle. Kuivat mäntykanakaat ovat niukkaravinteisia. Voimakas juurisienen muodostus on vaativissa kasvuoloissa elintärkeä puiden ja muiden kasvien ravinteiden otolle (Kallio 1981). Hakkuun jälkeen puiden juurisienirihmastoja tuhoutuu sitä enemmän, mitä vähemmän puita, alikasvosta ja taimia jää jäljelle (Ohenoja 2005). Jo sirkkataimivaiheessa taimen pitäisi saada sopiva mykorritsasieni, jotta veden ja ravinteiden ottaminen onnistuisi. Juurisienen saanti vaikeutuu uudistushakkuusta kuluneen ajan pidentyessä ja nummettumisprosessin edetessä. Varpukasvien mykorritsasienet eivät sovellu puiden käyttöön, koska niillä on oma lajistonsa (Väre 2005). Hallikainen ym. (2007) ovatkin todenneet, että Savukoskella uudistusosalalle jääneillä alikasvoksilla ja siemenpuita pienemmällä männnyillä on myönteinen vaikutus männyntaimen menestymiseen. Keskeinen syy lienee sopivien juurisienirihmastojen säilyminen syntyvien taimien saatavilla.

Hakkuun jälkeen pintakasvillisuudelle tulee runsaasti tilaa. Happamalla, karulla maalla kanerva on erittäin vahva kilpailija, minkä vuoksi se leviää suhteellisen nopeasti vapaaseen tilaan (Aaltonen 1919; Skre ym. 1998). Kanervalla on voimakas juuristo, mikä aiheuttaa juurikerroksessa ankaraa kilpailua kasvutilasta, vedestä ja ravinteista havupuun

taimien kanssa. Juuristokilpailussa kanervaa auttaa olennaisesti vahva mykorritsa. Sienillä on kasvien tapaan lajityypilliset kasvuoptiminensa muun muassa elinympäristön kosteuden, happamuuden ja ravinneolojen suhteen (Väre 2005). Erittäin karuissa ja happamissa kasvuoloissa kanervan juurisieni saattaa olla jopa ainoa ravinteiden ottoon kykenevä mykorritsalaji (Read 1996).

Kanervan vahvaan juuristokilpailuun ja mykorritsaan liittyy myös antagonistinen allelopatia eli kanervan kyky tuottaa muiden kasvien juurten kasvua ehkäiseviä yhdisteitä (Miles 1981; Mallik 1995). Myös variksenmarjalla ja erällä jäkälälajeilla on havaittu vastaavanlaisia ominaisuuksia (Wardle & Zackrisson 2005). Edellä mainittujen kasvien haitallinen sekä toisaalta puolukan ja poronjäkälien myönteinen vaikutus ilmeni myös Pohjois-Savukoskella (Hyppönen ym. 2013).

Kanervan karikkeet tuottavat lahotessaan erittäin happamia humushappoja, jotka lisäävät humuskerroksen ja maaperän happamuutta (Aaltonen 1919). Myös hakkuutähteiden hidas ja puutteellinen lahoaminen kuivilla kankailla tuottaa hapanta humusta ja humushappoja (Derome 1989). Pohjois-Savukoskella vähäinen hakkuutähde ei vaikuttanut merkitsevästi uudistumiseen, mutta sen runsas määrä haittasi selvästi (Hallikainen ym. 2007; Rautio ym. 2014). Hakkuutähdekasojen alla onkin havaittu ravinteiden huuhtoutumisen olevan voimakasta (Mälkönen 2003). Heikosti puskuroituneessa maassa vähäiset emäskationit huuhtoutuvat helposti ja kasvien ravinteiden saanti huononee entistään.

Lapin kuivat kankaat ovat tärkeitä porolaitumia. Poro voi käyttää satoja eri kasvilaajeja ravinnokeeseen. Sen seurauksena pintakasvillisuus on jäkäläisillä kasvupaikoilla usein hyvin kulunutta. Kuluminen heikentää kasvuoloja, koska pohjakerros tasoittaa lämpö- ja kosteusoloja. Kivennäismaan paljastuminen luo itämisalustaa siemenille, mutta se ei

kompensoi ajoittaisen kuivumisen haittavaikutuksia hyvin vettäläpäisevillä mailla. Poronjäkäläkasvuston on todettu sitovan ilmakehän tyypeä 1–5 kg hehtaarilla vuodessa (Martikainen 2003). Siten kasvillisuuden kuluminen huonontaa suoraan puuston uudistumis- ja kasvuoloja. Mykorritsasienten taantuminen vaikuttaa välillisesti (Ohenoja 2005). Myös Pohjois-Savukosken luontaisen uudistamisen tutkimuksissa havaittiin porolaidunnuksen haittavaikutuksia (Rautio ym. 2014).

Nummettuneen alueen elvytyskokeilu

Muonion Käkinivanvaaran ongelmalliselle uudistusalalle tehtiin noin 30 vuotta siemenpuuhakkuun jälkeen elvytyskokeilu vuosina 1983–84. Alueen siemenpuut oli poistettu aikaisemmin, kun niiden arveltiin haittaavan taimien kehitystä. Alueelle perustettiin neljä yhden hehtaarin suuruista koalaa. Puolet jokaisesta koalasta aidattiin porojen pääsyn estämiseksi. Koalat hajakylvettiin tasaisesti rauduskoivun siemenellä. Siemen kerättiin Kittilän Sätkenävaaran koivikosta, jonka proveniensi on menestynyt hyvin eri puolilla Suomea perustetuissa koivun viljelykokeissa. Kylvö tehtiin syksyllä niin, että siemen sai heti lumen sulaessa keväällä mahdollisimman hyvät kosteusolot itämiseen.

Aitausten ulkopuolelta porot ovat syöneet kaikki koivut ja pintakasvillisuus on edelleen erittäin kulunutta. Aitausten sisäpuolella koivun uudistuminen on paikoin onnistunut hyvin ja pisimmät puut ovat nykyisin muutaman metrin pituisia. Ilmeisesti pienimmät koivun taimet ovat siementyneet isoimmista koivuista, ja siten koivun uudistuminen etenee. Pintakasvillisuus on vähitellen elpymässä, ja poronjäkälä on alkuperäisissä kasvuaikuisaan noin 3–4 cm korkeaa. Männyt ovat myös alkaneet toipua ja kasvaa (Norokorpi 2018). Niissä on myös selvästi vähemmän kasvuhäiriöitä kuin aitauksen ulkopuolella. Se ilmentää kasvuolojen vähittäistä paranemista ja ravinteisuuden tasapainottumista.

Hallikainen ym. (2007) havaitsivat Pohjois-Savukoskella, että siemenpuualoilla jätettyjen pienekhöjen koivujen määrä korreloi positiivisesti männyn taimien kasvun ja kunnan kanssa. Oinosen (1958) mukaan harvahko koivun sekoitus uudistusaloilla on eduksi männyn taimettumiselle varsinkin tuulille alttiilla alueilla Pohjois-Lapissa. Hänen mukaansa myös taimien kasvu ja terveydentila ovat koivuvesaikojen suojassa parempia kuin laajoilla avoaloilla. Mikolakin (1958, 1959) suosittelee koivusekoitusta männyn-taimikoihin suojametsäalueella. Koivun juuriston biomassa on vesaryhmällä yleensä suurempi kuin versoissa (Laitakari 1934). Kaikilla kivennäismailla koivun lehtikarikkeet ja juuristo lisäävät huomattavasti orgaanisen aineksen määrää, vähentävät happamuutta ja parantavat viljavuutta (Smolander & Priha 2003; Tamminen & Mälkönen 2003). Erityisesti vähähumuksisilla, karuilla ja happamoitumisherkillä mailla lehtipuiden merkitys korostuu.

Ongelma-alueiden metsänhoito

Nummettumisherhän männikön uudistaminen avo- tai siemenpuuhakkuulla käynnistää negatiivisen muutosprosessin pienilmastossa, pintakasvillisuudessa ja maaperässä. Se voi johtaa vähäpuustoisien kanervanummen ja kitumaan muodostumiseen. Muutoinkin uudistuminen voi kestää pitkään eikä aina johda tavoitteeseen. Käkinivanvaarassa oli pienessä männikössä tehty ainoastaan yläharvennus. Metsä oli nuorentunut ja on nykyisin puustoltaan hyväkuntoinen, kasvuisa männikkö (Norokorpi 2018). Negatiivinen muutoskierre on vältettävissä siten, että metsä pidetään jatkuvasti puustoisena ja riittävän tiheänä. Jatkuvan kasvatuksen yläharvennus sopii hyvin kaikille kasvupaikoille myös Lapissa (Norokorpi & Lähde 1996, 2013; Lähde ym. 1999). Käytettäessä jokametsän kasvumalleja täytyy tietää ainoastaan runkolukusarja puu-

lajeittain, kasvupaikkatyyppi ja sijainti, jolloin malli optimoi kulloisessakin tapauksessa parhaan käsittelyn annetuilla ehdoilla (Pukkala ym. 2014; Pukkala 2018). Tärkeää on kuivilakin kankailla suosia mäntyvaltaisessa puustossa puulajisekoitusta, etenkin koivua maan kasvukunnon ylläpitämiseksi. Alikasvoksilla on suuri merkitys puustorakenteen ja ekologisten olojen säilyttämisessä mahdollisimman suotuisina. Metsätalouden tuotto korkealla sijaitsevilla, karuilla mailla ei ole kuitenkaan kovin hyvä, joten metsän muiden käyttömuotojen ja suojelun arvo voi nousta tärkeämmäksi. Nummettumisherkkien alueiden metsätalouskäyttöä tulee harkita entistä kriittisemmin suhteessa muihin käyttömuotoihin ja suojeluun.

Kun uudistushakkuu on tehty ja nummettusprosessi käynnistynyt, tilanteen korjaaminen ei näytä olevan helppoa (Rautio ym. 2014). Kanervoittuminen ja maan happamoituminen tulisi pysäyttää ensimmäiseksi. Käytännössä koivun viljely ei juurikaan tule kysymykseen, koska poro tuhoaa taimet ilman kallista aitaamista. Kulotus voi hieman vähentää happamoitumista ja hidastaa kanervoittumista, mutta palossa tuhoutuu samalla viljavuuden kannalta tärkeää orgaanista ainesta. Kulottamista vaikeuttaa vähäinen palokuorma, jos hakkuutähteet ovat ehtineet lahota pitkälle. Loput jäljellä olevat taimet tuhoutuvat ja mykorrhizalajisto niukkenee edelleen. Tuhkalannoitus koivun tuhalla vähentää maan happamuutta ja palauttaa kasvupaikalle kaikkia puun tarvitsemia kivennäisravinteita (Mälkönen 2003). Tuhka ei sisällä typpeä, ja karu maa on erittäin typpiköyhä, mikä hyödyttää tehokkaan juurisien oimaa kanervaa. Laiha typpilannoite tuhkaan sekoitettuna hillitsisi kanervan kasvua ja auttaisi taimia kasvuun.

Epätasainen tai liian runsas typpilannoitus johtaa helposti männyn pakkasvaurioihin karuilla kasvupaikoilla (Norokorpi 1977) ja

haittaa mykorrhitsojen toimintaa (Ohenoja 2005). Mahdollinen maankäsittely saa ulottua ainoastaan kivennäismaan pintaan, jotta alumiini- ja rautapitoinen rikastumiskerros ei tule näkyviin (Norokorpi & Lähde 1996). Mikäli luontainen siementyminen reunametsästä tai siemenpuustosta ei ole mahdollista, männyn kylvä on suositeltavinta, koska silloin taimilla on parempi mahdollisuus saada kasvupaikalle sopiva juurisieni. Istutustaimilla on taimitarhalla saatu mykorrhitsa, joka voi olla kasvupaikalle huonosti sopiva (Helmisaari ym. 2003).

Lapin nummettumisherkkien alueiden maaperän geokemiallisten ominaisuuksien selvittäminen vaatisi yksityiskohtaisia tutkimuksia kasvuolojen kannalta olennaisista tekijöistä, kuten happamuudesta, ravinteisuudesta, keskeisten alkuaineiden liukoisuudesta sekä alumiinin ja raskasmetallien haittavaikutuksista podsolin eri horisonteissa. Geokemiallisilla analyyseillä saadaan tarkennettua tietoa indikaattoreista, joilla ongelma-alueet on mahdollista tunnistaa ja rajata nykyistä tarkemmin. Maaperätutkimuksilla voidaan myös tarkentaa menetelmiä ongelmien korjaamiseksi jo nummettumassa olevilla uudistusaloilla.

Lähteet

- Aaltonen, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa I. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 1. 375 s.
- Aaltonen, V. T. 1952. Soil formation and soil types. *Fennia*, 72, 65–73.
- Derome, J. 1989. Acid-induced aluminium mobilization in Finnish mineral soils. *Julkaisussa: Kämäri, J., Brakke, D., Jekins, A., Norton, S. A. & Wright, F. R. (toim.), Regional acidification models: Geographic extent and time development*, s. 23–30. Springer-Verlag. Berlin.
- Franssila, M. 1949. Mikroilmasto-oppi. Ota-va. Helsinki. 257 s.
- Fritze, H., Haimi, J., Helmisaari, H.-S., Siira-Pietikäinen, A., Smolander, A. & Vanhala, P. 1994. Hienoituureet ja maaperän eliöstö raskasmetallien kuormittamassa maassa. *Julkaisussa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.), Suomen metsien kunto*, s. 185–194. Metsien terveyden terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metlan tiedonantoja 527.
- Haapasaari, M. 1988. The oligotrophic heath vegetation of northern Fennoscandia and its zonation. *Acta Botanica Fennica*, 135. 219 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.
- Helmisaari, H.-S., Lehto, T. & Makkonen, K. 2003. Hienoituureet ja mykorrhitsat. *Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Metsämaa ja sen hoito*, s. 115–128. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.
- Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Mäkipää, R., Reinikainen, A. & Tonteri, T. 2018. Metsätyypit – kasvupaikkaopas. Metsäkustannus ja Luonnonvarakeskus. 191 s.
- Hyppönen, M., Hallikainen, V., Niemelä, J. & Rautio, P. 2013. The contradictory role of understory vegetation on the success of Scots pine regeneration. *Silva Fennica*, 47(1), article id 903. 19 s. <https://doi.org/10.14214/sf.903>
- Kallio, P. 1981. Mänty metsänrajapuuna. *Dendrologian seuran tiedotuksia*, 3, 147–153.
- Kangas E. 1931. Siikakankaan mäntytaimien tuhoista. *Silva Fennica* 17. 107 s.
- Kujansuu, R. 2005. Kallioperä ja sen vaikutus korkokuvaan. *Julkaisussa: Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim.), Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkartojen 1:400 000 selitys*, s. 17–20. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

- Kujansuu, R. & Kejonen, A. 2005. Rapautuminen ja sen synnyttämät pinnanmuodot. Julkaisussa: Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim.), Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkarttojen 1:400 000 selitys, s. 20–25. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.
- Laitakari, E. 1934. Koivun juuristo. *Acta Forestalia Fennica*, 41(2), 1–217.
- Lassila, I. T. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. *Acta Forestalia Fennica*, 14(3), 1–19.
- Lähde, E., Laiho, O. & Norokorpi, Y. 1999. Diversity-oriented silviculture in the Boreal Zone of Europe. *Forest Ecology and Management*, 118, 223–243. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00504-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00504-0)
- Mallik, A. U. 1995. Conversion of temperate forests into heaths: Role of ecosystem disturbance and ericaceous plants. *Environmental Management*, 19(5), 675–684. <https://doi.org/10.1007/BF02471950>
- Martikainen, P. 2003. Metsämaan mikrobisto. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Metsämaa ja sen hoito, s. 101–114. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.
- Mikola, P. 1958. Suojametsätutkimuksia. Lapin suojametsäaluetta koskevia tutkimuksia vuodelta 1957, s. 15–20. Moniste, Metsäntutkimuslaitos.
- Mikola, P. 1959. Metsänviljelyn mahdollisuuksista pohjoisella metsänrajalla. *Metsätalouden Aikauslehti*, 76, 374–376.
- Miles, J. 1981. Problems in heathland and grassland dynamics. *Vegetatio*, 46, 61–74.
- Mälkönen, E. 2003. Metsämaan ravinteisuuden hoito. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Metsämaa ja sen hoito, s. 175–197. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.
- Niemelä, J. 2002. Männyn luontainen uudistaminen Savukoskella. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 42. 41 s.
- Nordlund, G. 2000. Emissions, air quality and acidifying deposition. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Forest condition monitoring in changing environment – The Finnish case, s. 49–59. Kluwer Academic Publishers.
- Norokorpi, Y. 1977. Epätasainen lannoitus ja männiköiden pakkasvauriot. *Metsä ja Puu*, 4, 15–17.
- Norokorpi, Y. 1981. Pienten avo- ja siemenpuuhakkuualueiden uudistuminen suojametsäalueella. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*, 6, 97–104.
- Norokorpi, Y. 1982. Pohjois-Lapin metsien ekologiset erityispiirteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*, 77, 14–23.
- Norokorpi, Y. 1983. Männyn luontainen uudistaminen Lapissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*, 105, 57–71.
- Norokorpi, Y. 1987. Metsänviljelyn onnistuminen korkeilla alueilla. Julkaisussa: Saaremaa, H. & Poikajärvi, H. (toim.), Korkeiden maiden metsien uudistaminen: Ajankohtaista tutkimuksesta, s. 16–31. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 278.
- Norokorpi, Y. 1998. Metsien kunto. Julkaisussa: Kinnunen, O., Kokkonen, T., Korpivuoma, J., Murtoniemi, S., Sandström, O. & Soine, H. (toim.), Itä-Lapin luonnonvarasuunnitelma, s. 22–29. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 16.
- Norokorpi, Y. 2018. Harsintajulkilausuma ja kaksi metsänhoidon paradigmaa. Julkaisussa: Norokorpi, Y. & Pukkala, T., Jatkuva kasvatus jokametsään, s. 97–125. Joen Forest Program Consulting. Joensuu.
- Norokorpi, Y. & Kärkkäinen, S. 1985. Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. *Folia Forestalia*, 632, 1–26.
- Norokorpi, Y. & Lähde, E. 1996. Ekologisesti kestävä metsänhoidon periaatteet Lapissa. Julkaisussa: Sepponen, P. & Niemi, M. (toim.), Lapin metsien kestävä käyttö: Tutkimuspäivät Rovaniemellä 1995, s. 61–73. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 587.

Norokorpi, Y. & Lähde, E. 2013. Jatkuvaa kasvatusta pohjoisen männiköihin. Julkaisussa: Lähde, E. & Pukkala, T. (toim.), Alikasvoksesta ylispuuksi, s. 37–46. Joen Forest Program Consulting. Joensuu.

Norokorpi, Y., Eeronheimo, H., Eurola, S., Heikkinen, R., Johansson, P., Kumpula, J., Mäkelä, K., Neuvonen, S., Sihvo, J., Tynys, S. & Virtanen, R. 2008. Tunturit. Julkaisussa: Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.), Suomen luontotyyppien uhanalaisuus – Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset, s. 467–541. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 8/2008. Helsinki.

Odin, H. 1974. Några meteorologiska förändringar vid hyggesupptagning. Sveriges Skogsvårdförbunds Tidskrift, 72(1), 60–65.

Ohenoja, E. 2005. Sienisadosta. Julkaisussa: Salo, P., Niemelä, T., Nummela-Salo, U. & Ohenoja, E. (toim.), Suomen helttasienten ja tattien ekologia, levinneisyys ja uhanalaisuus, s. 62–67. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 769. Helsinki.

Oinonen, E. 1958. Suojametsäkysymyksestä. Lapin suojametsäaluetta koskevia tutkimuksia vuodelta 1957. Moniste, Metsäntutkimuslaitos, s. 21–27.

Perttu, K. 1974. Strålningsbalansen före och efter kalhugning. Sveriges Skogsvårdförbunds Tidskrift, 72(1), 53–59.

Pukkala, T. 2018. Jokametsän hakkuuohjeet. Julkaisussa: Norokorpi, Y. & Pukkala, T., Jatkuvaa kasvatusta jokametsään, s. 9–20. Joen Forest Program Consulting. Joensuu.

Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2014. Optimizing any-aged management of mixed boreal forest under residual basal area constraints. *Journal of Forestry Research*, 25(3), 627–636. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0501-y>

Rautio, P., Hyppönen, M., Hallikainen, V., Niemelä, J., Välikangas, P., Jalkanen, R., Winsa, H., Hiltunen, A. & Bergsten, U. 2014. Kangasmetsien uudistamisen ongelmat Lapissa – kasvatetaanko kanervaa vai mäntyä? Tutkimuspäivä Rovaniemellä 11.12.2014, s. 12–22. Metsäntutkimuslaitos, Metlan työraportteja 321.

Read, D. J. 1996. The structure and function of the ericoid mycorrhizal root. *Annals of Botany*, 77(4), 365–374. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0044>

Salminen, R. 1976. Identification of weathered bedrock and the till derived from it. *Journal of Geochemical Exploration*, 5(3), 409–412.

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(4), 501–510. <https://doi.org/10.2307/3237265>

Smolander, A. & Priha, O. 2003. Puulajin merkitys metsämaan viljavuuden hoidossa. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Metsämaa ja sen hoito, s. 155–158. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.

Starr, M. R. 1991. Soil formation and fertility along 5000-year chronosequence. Julkaisussa: Pulkkinen, E. (toim.), *Environmental geochemistry in northern Europe*, s. 99–104. Proceedings of the First Symposium on Environmental Geochemistry in Northern Europe, Rovaniemi, Finland, 17–19 October, 1989. Geological Survey of Finland, Special Paper 9.

Starr, M. R. & Tamminen, P. 1994. Metsämaiden podsoloituminen. Julkaisussa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.), Suomen metsien kunto, s. 98–108. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metlan tiedonantoja 527.

Tamminen, P. & Mälkönen, E. 2003. Metsämaiden viljavuus. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.), Metsämaa ja sen hoito, s. 141–154. Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti Kustannus.

Väisänen, U. 2005. Pohjaveden laatu. Julkaisussa: Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim.), Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkarttojen 1:400 000 selitys, s. 197–209. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

Väre, H. 1988. The mycorrhizal condition of weakened Scots pine saplings grown on ploughed sites in northern Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 19(3), 341–346. <https://doi.org/10.1139/x89-051>

Väre, H. 2005. Sienijuuret. Julkaisussa: Salo, P., Niemelä, T., Nummela-Salo, U. & Ohenoja, E. (toim.), Suomen helttasienten ja tattien ekologia, levinneisyys ja uhanalaisuus, s. 58–59. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 769. Helsinki.

Wardle, D. A. & Zackrisson, O. 2005. Effects of species and functional group loss on island ecosystem properties. *Nature*, 435, 806–810. <https://doi.org/10.1038/nature03611>

Acta Lapponica Fenniae

1. Lapin kivennäisvarat / Herman Stigzelius, Pentti Ervamaa, 60 s., 1962.
2. Schefferus, Johannes: Lapponia, 1674. Suom. Tuomo Itkonen, 492 s., 1963. Alkuperä: Acta Lapponica 2.
3. Settlement and economic life in the district of the Lokka reservoir in Finnish Lapland / Jaakko Havukkala, 46 s., 1964.
4. Bedrock and its influence on the topography in the Lokka-Porttipahta reservoir district, Finnish Lapland / Heikki Niini, 54 s., 1964.
5. An investigation of reindeer husbandry in Finland / Reijo Helle, 66 s., karttal., 1966.
6. Some contributions to the question of Dutch traders in Lapland and Russia at the end of the sixteenth century / Jorma Ahvenainen, 53 s., 1967.
7. Über die regionale Differenzierung der Landwirtschaft im Län Lapland / Uuno Varjo, s. 346-364, 1968; Erip.: Acta geographica 20, n:o 24.
8. Lapin ilmastokirja = Climate of Lapland, . 94 s., 1974.
9. Lapin tutkimuspoliittinen ohjelma / toim. Jukka Yliniemi ja Olli Saastamoinen, 115 s., 1975.
10. Lapin kasvivarat = Plant resources in Lapland / toim. Paavo Kallio, 141 s., 1978.
11. Lapin tutkimusyksiköt = Research in Finnish Lapland / toim. Aulis Ritari, 47 s., 1982.
12. Geologinen Pohjois-Suomi / julk.: Lapin tutkimusseura r.y., toim. Ahti Silvennoinen, 100 s., 1984.
13. Lapin tutkimus tänään: Lapin tutkimusyksiköt tutkimuksen eri aloilta / toim. Seppo Aho ja Tiina Keränen, 72 s., 1986.
14. Kultasympposiumi 12.-13.8.1987, Tankavaara, Sodankylä = Gold symposium 12.-13.8.1987 Tankavaara, Sodankylä / toim. Ilkka Härkönen, 72 s., 1988.
15. Lapin metsäkirja / toim. Olli Saastamoinen ja Martti Varmola, 199 s., 1989.
17. Lapin tutkimuspoliittinen ohjelma / Marja Mäkinen, 54 s., 1994.
18. Lapin tutkimusyksiköt: toiminta, resurssit ja tulevaisuus / Aulis Ritari ja Veli-Matti Kaihua, 61 s., 1994.
19. Lapin tutkimusseura 1959-1999 / toim. Heikki Annanpalo, 54 s., 1999.
20. Kuolan niemimaalla käyneiden suomalaisten tiedemiesten matkakertomuksia / Leif Rantala, 118 s., 2008.
21. Mikä Lappi on ja mikä siitä voi tulla? / toim. Pertti Sarala, Pasi Lehmuspelto ja Leena Suopajarvi, 83 s., 2009.
22. Ylä-Lapin metsien käytön ristiriidat – näkökulmia kestävään käyttöön / toim. Mikko Hyppönen, Sirkka Tapaninen ja Pertti Sarala, 47 s., 2010.
23. Lokka muutosten näyttämönä / toim. Leena Pyhäjärvi, Maria Hakkarainen, Timo Helle, Seija Tuulentie, Mervi Autti ja Pertti Sarala, 80 s., 2011.
24. Pohjoinen puhtaus / toim. Rainer Peltola ja Pertti Sarala, 104 s., 2012.
engl. The clean nature of the North / eds. Rainer Peltola and Pertti Sarala, 104 p., 2014.
25. Lapin geologiset luonnonvarat 2010 / toim. Pertti Sarala, 133 s., 2012.
26. Ihmisiä luonnossa – luonnonvaratutkimuksen pohjoisia näkökulmia / toim. Seija Tuulentie, Leena Suopajarvi ja Pertti Sarala, 111 s., 2015.
27. Kiertotalouden ja sivuvirtojen hyödyntämisen mahdollisuudet Lapissa / toim. Pasi Rautio, Marja Uusitalo ja Pertti Sarala, 43 s., 2016.
28. Lapin elinvoima / toim. Leena Suopajarvi ja Seija Tuulentie, 49 s., 2017.

29. Kestävää metsätaloutta kairoilla / toim. Pasi Rautio, Jaakko Repola, Hannu Salminen ja Heli Ilola, 49 s., 2020.

Suomi on Euroopan metsäisin maa. Jokaista suomalaista kohti meillä on metsää keskimäärin noin neljä hehtaaria. Lapissa tämä suhde on moninkertainen. Metsä onkin osa lappilaisten identiteettiä siinä kuin tunturitkin. Metsiä on täällä totuttu käyttämään rakennus- ja polttopuun lähteenä sekä lisäksi ruoka-aittana, josta on haettu marjat, sienet ja riista. Metsiin kohdistuu myös uusia tarpeita. Matkailun lisääntymisen myötä metsästä on tullut arvokas maisemana. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi metsistä halutaan tehdä milloin hiilen varasto, milloin hiilen nielu. Metsän arvo biodiversiteetin säilyttäjänä kasvaa lajikadon edetessä. Lappiin suunnitellaan myös uusia suuria biotuotetehtaita, jotka toisivat kaivattuja työpaikkoja mutta lisääisivät puun käyttöä huomattavasti. Voidaanko kaikki nämä eri käyttömuodot sovittaa Lapin metsiin?

Vuoden 2020 Acta Lapponica Fenniaen esittelemissä tutkimuksissa ja näkökulmissa pohditaan, voitaisiinko metsää käsitellä siten, että sieltä voitaisiin hakata puuta mutta säilyttää se silti puustoisena. Saadaanko metsälain vaatimukset metsän uudistumisesta täytettyä, jos metsä pidetään puustoisena? Tarvitaanko maankäsittelyä, jotta saadaan tarvittava määrä taimia? Miten nummettumisherkit kangasmaat saataisiin uudistettua muut käyttömuodot huomioiden? Muun muassa näihin kysymyksiin etsitään vastauksia tässä julkaisussa.