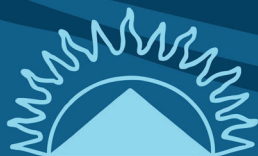


Acta Lapponica Fenniae 29

Kestävää metsätaloutta kairoilla

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



Lapin
tutkimusseura
www.lapintutkimusseura.fi

Acta Lapponica Fenniae

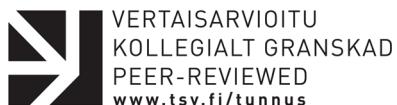
Nro 29, 2020

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

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 (Valtunen 1984; Niemistö ym. 1993), ja samalla säästetään työvoimakustannuksissa, kun vältytään 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 asetusten 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 pitemmän 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 siemenpuuhakkuusta 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 uudistamisiongelmat 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 hakkuusta kulunut aika, etäisyys lähimpään siemenpuuhun sekä lämpösusma (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 hakkuusta. 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 siemenpuuhakkuusta kulunut aika ja paljastetun mineraalimaan määrä, selvästi kielteisimmin taas humuskerroksen paksuus ja hakkuutähteiden määrä.

Hakkuutähteillä 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). Hakkuutähteet voivat mm. vähentää humuksen kosteutta, estää auringon säteilyn lämmittävää vaikutusta tai estää siementen pääsyn maan pinnalle; toisaalta ne voivat suojella maaperää hakkuuvaiheen 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

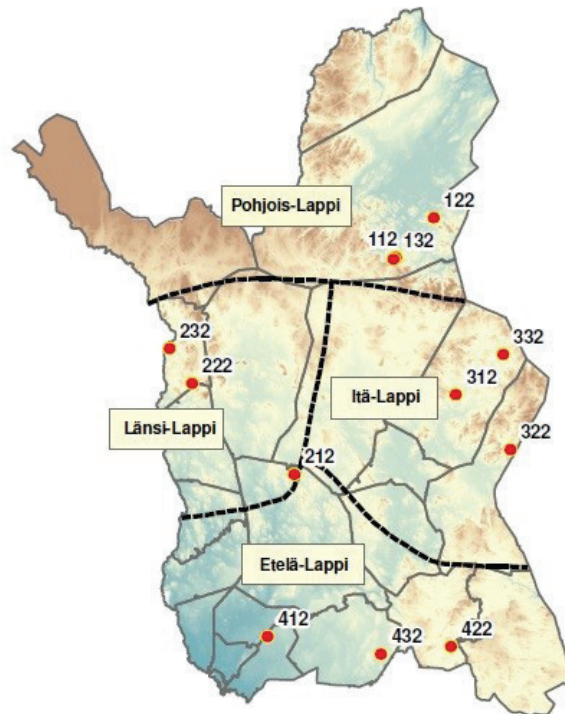
paljastuneen kivennäismaan osuuden metsän pohjakerroksen pinta-alasta ei tarvitse olla kovin suuri: jo noin 10 %:n paljastetun kivennäismaan osuus edistää taimettumista huomattavasti (Hallikainen ym. 2019).

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 käsittelyjen 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).

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

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.

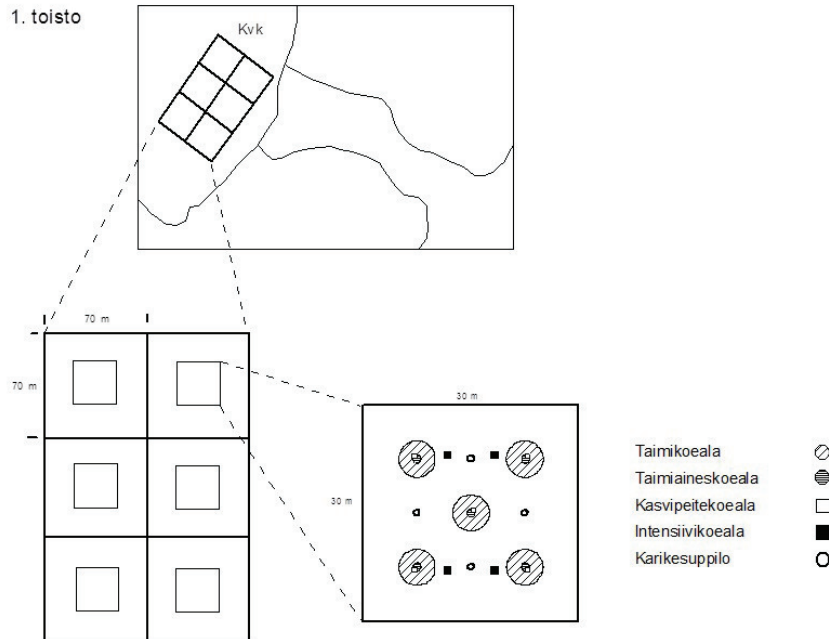
Alue	Sijainti	Kunta	Perustamis- vuosi	Inventointivuodet
Pohjoinen	Raiviovaara	Inari	2004	2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2015
	Paloselkä	Inari	2005	2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013, 2016
	Alajoenpää	Inari	2006	2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2017
Läntinen	Sortoselkä	Rovaniemi	2004	2005, 2006, 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	Kainijoki	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). Kullekin 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. Kaililta koeruuduilta, lukuun ottamatta kontrolloita, 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. Näitä mitattujen peittävyksien keskiarvoja käytettiin kuvaamaan 20 m²:n ympyräkoalojen kasvillisuutta. Taimikoealoilta mitattiin myös kivisyys, humuksen paksuus sekä sammal- ja jäkäläkerroksen paksuus. Lisäksi arvioitiin muokkausjäljen ja hakkuutähteiden peittävyden osuus taimikoealasta.



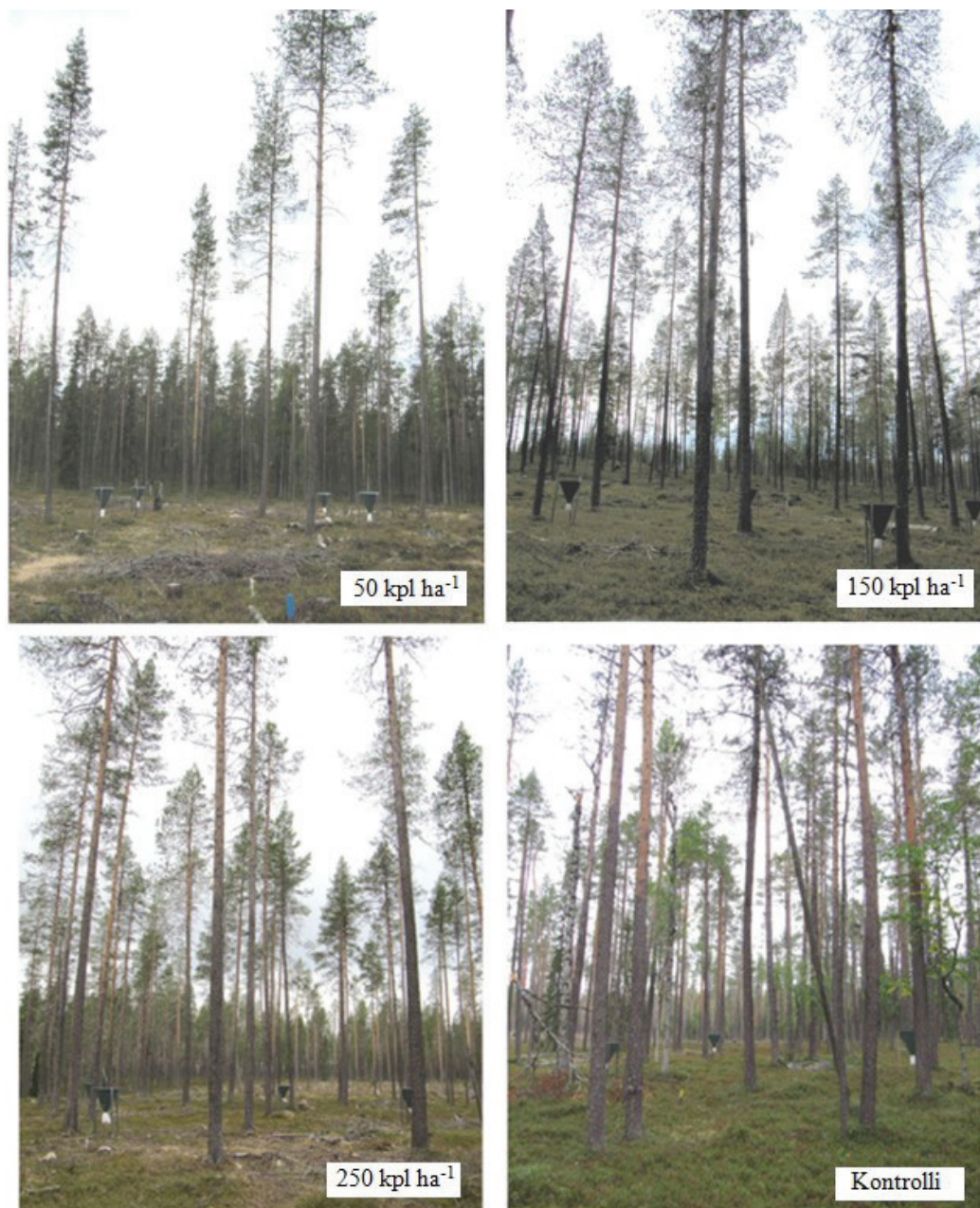
Kuva 2. Tutkimusmetsikön koejärjestely. Kuvassa ympyrä- ja kasvillisuuskoelajien sijoittuminen arvottujen käsittelyruutujen sisällä. Kullakin käsittelyruudulla oli viisi 20 m^2 :n ympyräkoelajaa (Taimikoealat), joilta taimimittaukset tehtiin, sekä viisi kasvipeitekoelajaa, jotka sijoitettiin ympyräkoelajan 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 $30\times 30\text{ m}$ treatment square plot five circular 20 m^2 seedling monitoring plots were established. A square plot ($0.71\times 0.71\text{ m}$) 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, poronjäkälet ja muut jäkälet. Kenttäkerroksesta arvioitiin puolestaan lajitasolla puolukan (*Vaccinium vitis-idaea*), mustikan (*Vaccinium myrtillus*), juolukan (*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 pituisen taimien lukumäärä ensimmäisen viiden vuoden aikana vuosittain ja myöhemmin kolmen vuoden välein. Taimista mitattiin tai määritettiin ikä, pituus, pituuskasvu, kehityskelpoisuus (elinvoimainen ja etäisyys lähimpään elinvoimaiseen taimeen $\geq 80\text{ cm}$) ja tuhot sekä suunta ja etäisyys koelajan 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 Kairjoella, Simon Kuivasjärvellä ja Paltamossa sijaitsevilta koealoilta) määritettiin taimien lisäksi myös ruudun kasvillisuus (peittävyudet) 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 männynntaimien (ja myös muiden puulajien taimien) määrä koealalla.

Taimien lukumäärää mallinnettiin huomattavan ylihajonnan vuoksi negatiivisen binomijakauman oletuksella ja taimien pituuden logaritmia (logaritmimuunnos 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 huomioivalla 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-ikään (onko taimien pituus esimerkiksi suorassa suhteessa niiden ikään) olivat erityisen mielenkiinnon kohteena. Myös muiden taimikoealoilta mitattujen muuttujien, kuten paljastuneen kivennäismaan, hakuuhteiden 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.

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

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 1 200 kpl/ha (ks. mediaanit, taulukko 2). Parhaimmillaan taimia saattoi kuitenkin olla hyvinkin paljon, kappalemääräjakauksen 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.

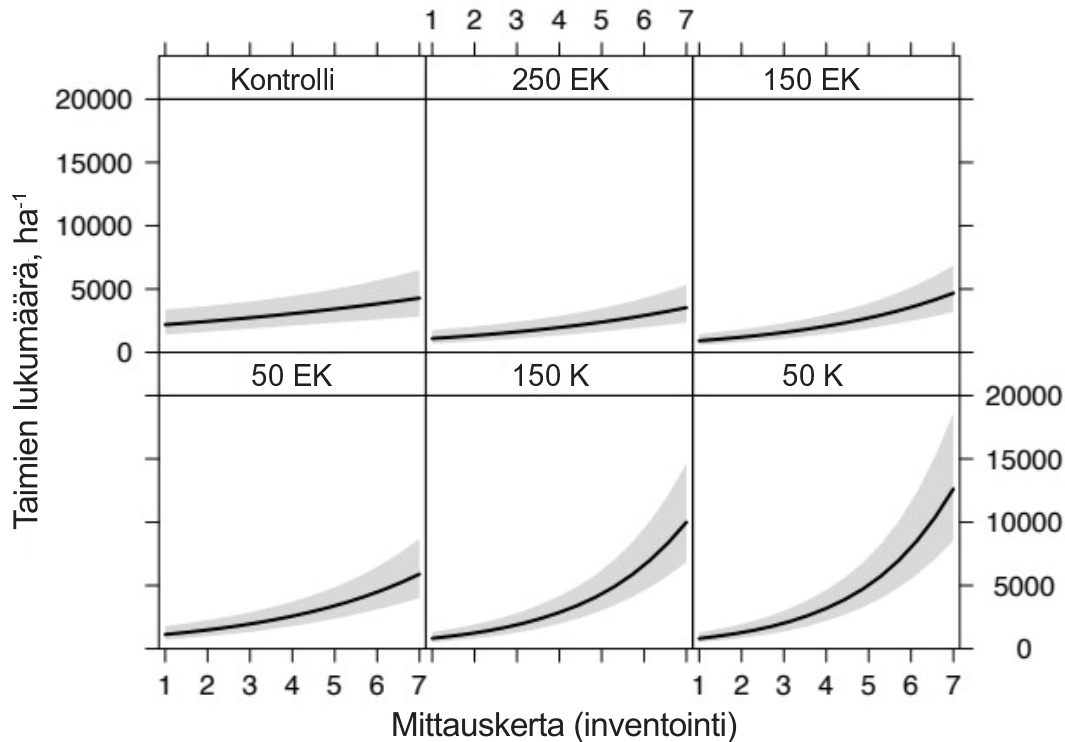
Mallien keskeisimmät ennusteet ja niiden 95 %:n luottamusvälit laskettiin edellä kuvattujen mallien kiinteän osan kertoimilla. Metsien uudistumisen kannalta tärkeimmät muuttujat ovat siementävän puuston tiheys ja uudistumiseen kulunut aika. Siementävän puuston tiheyden ohella taimien keskimääräinen ikä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

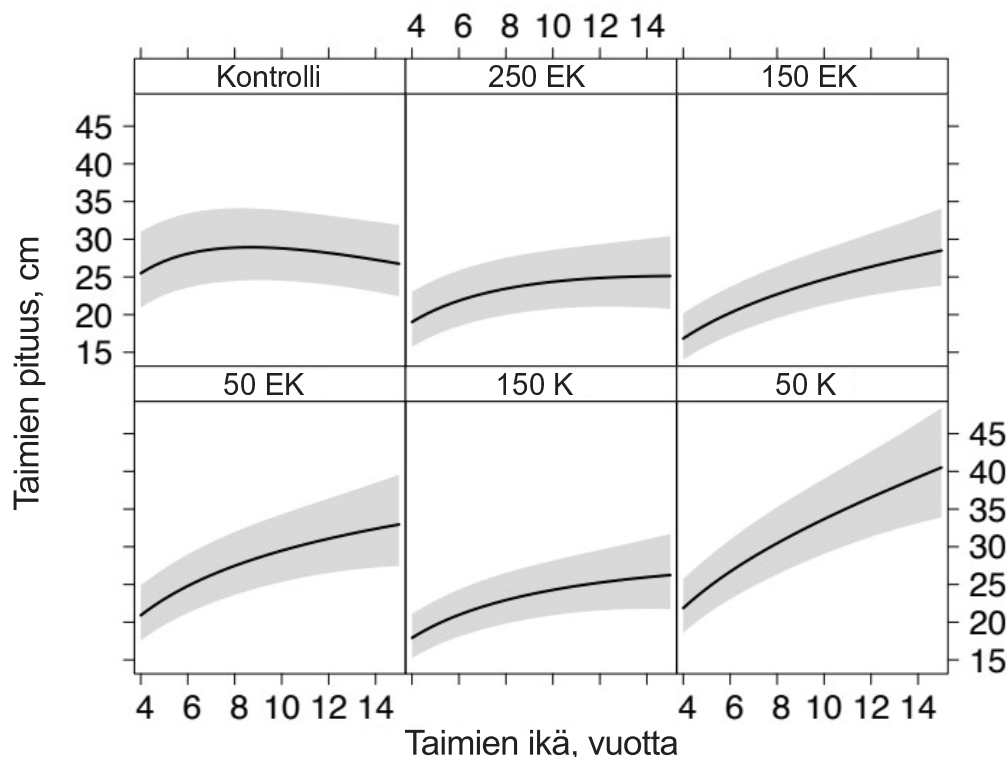
Figure 4. Development of number of pine seedlings (seedlings ha⁻¹) during the study period (7 inventories) in different treatments. EK stands for treatments without soil preparation and K stands for treatments with soil preparation. When computing the predictions, the proportion of prepared soil was 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-ikänsä 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

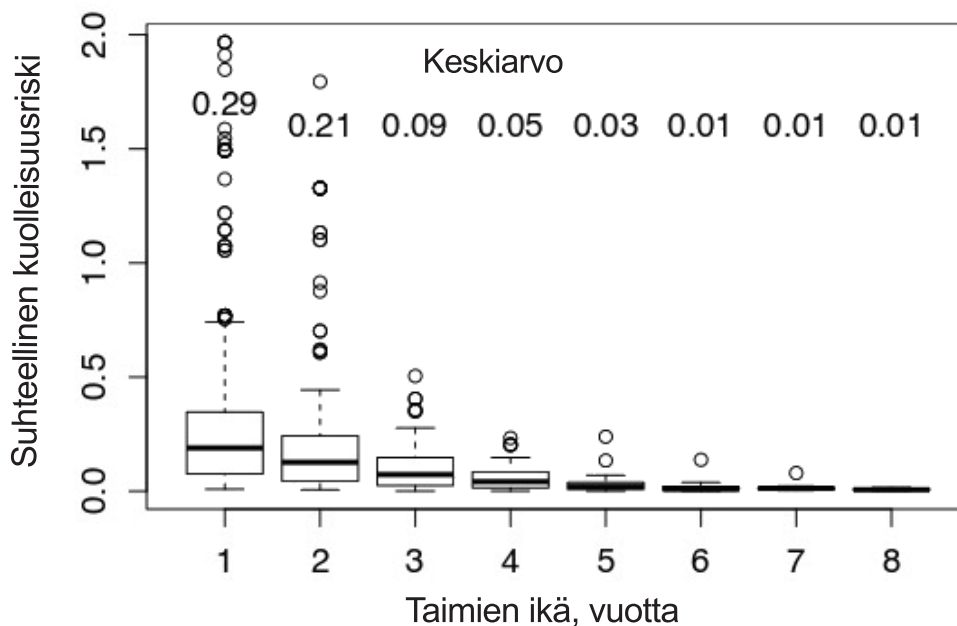
Noin neljäsosa 1 m²:n intensiivikoealoille syntyneistä taimista (yhteensä 628) kuoli seurantaajan aikana. Männyntaimien kuolleisuusriski oli suurin taimien ollessa yhden vuoden ikäisiä (kuva 6). Riski kuolla aleni siten, että toisena vuonna se oli noin 72 % ja kolmantena vuonna noin 30 % ensimmäisen 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 (pääalajiryhmä) 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 % jäkälän ympäröimien taimien riskitasosta. Karhunsammalten ympäröimillä taimilla kuolleisuusriski oli 31 % ja muiden metsäsammalien (pääasiassa seinäsammalen) ympäröimillä taimilla 48 % jäkälän ympäröimien taimien riskistä, kun tarkastellaan enustettujen 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 yleistettävyys

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 kivi- ja 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 itämisen- 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 latvuspäntä 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 kasvi- peitteeseen. 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 yhtenäisen ja paksu sammalpinta on huono itämialusta, 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 itämialustalle 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 metsänhoitosuositusten 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 juuristikilpailun 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.

Jobtopäätökset

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 tavoitתיheyttä (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 seuranta tulisi jatkaa vielä ainakin 5–10 vuotta, jotta voitaisiin tehdä arvioita metsiköiden jatkokehityksestä.

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 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. 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 föryngring under skärm. En analys av föryngringsmetoden, 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 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. 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 napapiirin 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 suospuumenetelmällä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 67(4). 140 s.
- Metsälaki. 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.metsanhoitosuosituks.fi/wp-content/uploads/2019/09/Metsanhoidon_suosituks_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>