

Arto Rummukainen, Leo Tervo, Kari Kautto ja Minna Pulkkinen

Maanmuokkaus- ja kylvölaiteyhdistelmien vertailuja männyn kylvössä Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla

Rummukainen, A., Tervo, L., Kautto, K. & Pulkkinen, M. 2011. Maanmuokkaus- ja kylvölaiteyhdistelmien vertailuja männyn kylvössä Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2011: 13–33.

Lajittuneet maalajit, erityisesti kuivahkot ja kuivat kankaat ovat osoittautuneet parhaiksi männyn kylvökohteiksi itämisen, taimettumisen ja puun laadun suhteen. Koneellisen kylvön menetelmiä, kustannuksia ja tuloksen onnistuneisuutta testattiin kolmella kylvölle tyypillisellä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan kuivan kankaan koealalla. Kullakin koealalla oli käytössä erilaiset kylvökone-maanmuokkayhdistelmät, yhteensä kaksitoista äestykseen, laikutukseen tai jyrshintään perustuvaa kylvökoneyhdistelmää.

Taimimäärät olivat kaikilla tutkimuksessa mukana olleilla äestetyillä alueilla (menetelmien keskiarvo kahdeksannen kasvukauden jälkeen vaihteli 2 750–7 500 tainta/ha) tavoitetiheyden täyttäviä niin määrän kuin tasaisuudenkin osalta. Laikutetuilla alueilla taimimäärän keskiarvo oli 4 400–8 000 ja jyrshintäällä 1 800–4 750 tainta/ha. Joillakin laikutus- ja jyrshintämenetelmillä taimikko jäi kuitenkin aukkoiseksi. Tilastollisesti merkitseviä eroja saatiin vain Louhivaarassa ja Vepsässä jyrshintän ja parhaan muun menetelmän välille. Taimien keskipituus eri koealueilla oli neljän kasvukauden jälkeen vajaa 10 cm. Kahdeksan kasvukauden jälkeen pituudet vaihtelivat 35–65 cm, mutta taimien pituuskasvussa eri maanmuokkaus-kylvö-menetelmien välillä aina yhden koealueen sisällä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

Kylvön sisältävä äestyksen keskimääräinen käyttötuntituotos oli 1,5 ha, Jigi-laikkurin 0,9 ha, Holck-laikkurin 1,0 ha, Bracke-laikkurin 1,3 ha, jyrshintän 0,9 ha ja Patu-laikutuksen 0,3 ha. Koneellisen kylvön kokonaiskustannukseksi tuli äestyksellä noin 300 €/ha, jatkuvatoimisella laikkumätästyksellä 275 €/ha, jyrshintäällä 260 €/ha ja kaivurilaikutuksessa 340 €/ha. Konekylvön kustannukset jäävät noin kolmannekseen istutuksen kustannuksista.

Asiasanat: männyn kylvö, konekylvö, maanmuokkaus, uudistaminen

Yhteystiedot: *Rummukainen*, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka, PL 18, 01301 Vantaa; *Tervo* ja *Kautto*, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimipaikka, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki; *Pulkkinen*, Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Sähköposti: arto.rummukainen@metla.fi

Hyväksytty: 7.3.2011

Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff111013.pdf>

I Johdanto

I.1 Kylvö metsänuudistusmenetelmänä

Kylvö on perinteinen männyn keinollinen uudistamismenetelmä. Luontaiseen uudistamiseen verrattuna uudistamisaikaa voidaan lyhentää muutamilla vuosilla ja taimet jakautuvat uudistusalueelle tasaisemmin (Kinnunen 2002). Kylvö mahdollistaa uudistusalueen puulajin vaihdon, jolloin saadaan hyödynnettyä siementen laatu- ja jalostuskehitys. Siemenviljelysiemenellä saadaan enemmän ja paremmin kasvavia taimia kuin metsikkösiemenellä (Wennström ym. 2007). Kasvatustiheyttä voidaan lisätä edullisesti niin suureksi, että päätehakkuvaiheen sahapuun laatua pystytään parantamaan.

Kuusen ja koivun kylvötulokset ovat olleet vaihtelevia (Kinnunen (2002) heikot, Korhonen ja Mänty (1991) hyvät), joten kylvöä ei yleisesti suositella näiden viljelyyn. Koneellista kylvöä on käytetty myös luontaisen uudistamisen varmistamiseen ja nopeuttamiseen (Kinnunen 1992). UPM:n omien maiden viljelyalojen inventoinneissa konekylvön hyvät tulokset ovat tehneet siitä männyn uudistamisen päämenetelmän (Väisänen 2002). Vuosien 2001 ja 2002 inventointitulosten mukaan tavoitteiden mukaisten taimikoiden osuus männyn konekylvöaloilla oli n. 90 % pinta-alasta.

Kankaanhuhdan ym. (2009) seurantatutkimuksessa konekylvö onnistui paremmin kuin käsin kylvö. Kun kylvö tehdään muokkauksen yhteydessä, siemenille löytyy kuohkeassa maassa itämisoloja parantavia pieniä koloja eikä muu kasvillisuus vielä häiritse. de Chantal ym. (2003a) kokeissa muokkausjäljen tasoittuminen sääeroosion takia heikensi kylvön onnistumista, vaikka maan kosteus ja rakenneominaisuudet olivat muuten samat kuin heti muokkauksen jälkeen. Kinnunen (2003) tulosten mukaan käsin kylvöllä sai toisaalta parempia tuloksia kuin konekylvöllä.

Kivennäismaan paljastaminen kuivilla mailla on lähes poikkeuksetta tarjonnut paremman itämisalustan kuin humuspinta (Sirén 1952, Kinnunen ja Linnimäki 1978, Kinnunen 1992, Oikarinen ym. 1995, Mäkitalo 1999, Hyppönen ym. 2001, Hyppönen ja Kempe 2002, de Chantal ym. 2003a, Pitkänen, ym. 2005, Kankaanhuhta ym. 2009). Kuitenkin de Chantal ym. (2003a ja b) totesivat Etelä-Suomessa

parhaaksi itämispaikaksi maatuneen humuspinnan: raakahumus on poistettu pinnalta, mutta kivennäismaata ei ole paljastettu. Ongelmaksi tulee tällaisen muokkausjäljen tuottaminen käytännön työssä.

Kylvö mätästetylle maalle on antanut hieman laikutusta ja äestystä paremman tuloksen (Kinnunen 1992, Kankaanhuhta ym. 2009). Toisaalta mättään päällyys voi kuivua liikaa ja hienojakoisilla maaloilla routia keväällä (Winsa ja Bergsten 1994, de Chantal ym. 2003b). Pohtila ja Pohjola (1985) saivat Lapissa äestyksellä korkeammat taimettumissadannekset kuin laikutuksella ja aurauksella. Toisaalta Mäkitalo (1999) ja Hyppönen ym. (2001) saivat Lapissa aurauksella parempia viljelytuloksia kuin äestyksellä. Kulotusjälkeen kylvetyistä siemenistä taimet kasvoivat pidemmiksi kuin äestysjälkeen kylvetyistä (Mäkitalo 1999).

Aurauksen ja männyn kylvön on todettu soveltuvan keskimäärin suhteellisen huonosti yhteen (Pohtila ja Pohjola 1985, Pohtila ja Valkonen 1985), vaikka päinvastoin auraukselle suoritettu kylvö voi onnistua (Sirén 1952, Lähde 1979). Hyppösen ym. (2001) mukaan aurauksen kylvöalustana tuotti Länsi-Lapissa enemmän taimia kuin äestys. Aurauksen muuttua muuta muokkausmenetelmää voimakkaammin pienilmastoa, joten se voi toimia parhaiten äärioloissa. Hallikaisen ym. (2004) Lapin yksityismetsissä tekemässä inventoinnissa äestetyillä kylvöaloilla taimimäärä oli pienempi kuin auratuilla alueilla.

Luonnontaimia tulee viljelyalueelle reunapuiden sientämänä jopa parikymmentä prosenttia (Saksa 1986, Korhonen ja Mänty 1991, Viitala 1991, Korhonen ja Kumpare 1994a, Oikarinen ym. 1995), tosin osa taimista voi olla epätoivottuja puulajeja. Reunametsän siemennystä on havaittu merkittävästi pariin sataan metriin asti (Saksa 1986, Hagner ym. 1994). Hyppösen ja Kempen (2002) tutkimuksissa 12 kasvukauden jälkeen kehityskelpoisten männyntaimien määrä muokkaamattomilla pinnoilla oli keskimäärin 1 100 kpl/ha ja äestetyillä alueilla 2 300 kpl/ha.

Koneellisen kylvön riskitekijöitä ovat siemeniä syövät linnut ja pienjyrsijät sekä monet sienitautit (Saksa 1986, Hagner ym. 1994, Oikarinen ym. 1995). Selanderin ym. (1990) tutkimuksen mukaan luonnontaimet ovat alttiita myös kärsäkästuhoilta, joskin hyönteiset suosivat selvästi enemmän istutustaimia. Thuressonin ym. (2003) mukaan

3–5-vuotiaat siementaimet ovat jo riittävän kookkaita tukkimiehentäin ravintokohteeksi.

Koneellista männyn kylvöä ja kustannuksia tutkineet Kinnunen (1992 ja 2003) ja Korhonen ja Kumpare (1994a ja b) havaitsivat konekylvön käsinkylvöä taloudellisesti edullisemmaksi. Kylvön onnistumista on selvitetty monissa laajoissa uudistamisen seuranta-tutkimuksissa (mm. Kinnunen ja Linnimäki 1978, Pohtila ja Pohjola 1985, Hyppönen ym. 2001, Saksa ym. 2005). Näissä on tiedetty muokkausmenetelmä, mutta yleensä ei ole tietoa miten kylvö on toteutettu. Väisäsen (2002) ja Kankaanhuhdan ym. (2009) tutkimuksissa havaittiin nimenomaan konekylvön edullisuus ja tehokkuus.

Saksan ym. (2005) viiden metsäkeskuksen alueella tehdyn inventointitutkimuksen mukaan hyvien männyn kylvötulosten (yli 3 000 tainta/ha) osuus jäi tuoreilla kankailla 37 %:iin. Kuivahkoilla kankailla vastaavat osuudet olivat 56 % ja kuivilla kankailla 71 %. Kylvön tulos oli istutustulosta keskimäärin 10 prosenttiyksikköä alhaisempi kuivahkoilla ja kuivilla kankailla. Muokkausmenetelmä oli pääosin äestys.

Vuonna 2007 keinollinen metsänviljelyala oli Suomessa yhteensä 123 547 ha, josta kylvön osuus oli 26 % (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Kylvöstä tehtiin 59 % yksityisten, 18 % metsäteollisuuden ja 23 % valtion metsissä. Konekylvön osuus oli yksityismetsissä 62 % ja muilla peräti 90 % kokonaiskylvöalasta. Männyn osuus kylvöstä oli 99 %. Suurimmat kylvöalat olivat Pohjanmaalla, Kainuussa ja Lapissa. Suurimmillaan kylvön osuus oli viljelyalasta lähes 59 % vuonna 1964 ja alimmillaan 16 % vuonna 1988 (Metsätilastollinen... 2008).

Vuonna 2007 kaikissa kylvöissä käytettiin keskimäärin 316 g siemeniä hehtaaria kohti (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Yksityismetsissä määrä oli 306 g/ha, metsäteollisuudella 300 g/ha ja valtiolla 354 g/ha. Vuonna 2010 männyn siemenen hinta oli itävyyden mukaan (metsikkösiemen – siemenviljelyssiemen) 330–715 €/kg ilman liikevaihtoveroa (Tapion... 2010).

Kylvön kokonaiskustannukset olivat 7,2 miljoonaa euroa vuonna 2007 (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Summa oli 13 % istutuksen kokonaiskustannuksista. Kylvö maksoi yksityisten mailla keskimäärin 185 €/ha sisältäen palkat, työnjohdon, tarvikkeet, kaluston ja kuljetukset oheiskustannuksineen (tar-

kemmin katso Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Yksityismailla valtio tuki taloudellisesti kylvöä 11 %:lla kylvöalasta.

Metsäteollisuuden mailla kylvön keskimääräiset kustannukset olivat 367 €/ha ja valtion mailla 191 €/ha (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Vastaavin laskentaperustein äestyksen kustannus oli yksityisillä 157 €/ha, metsäteollisuudella 179 €/ha ja valtiolla 141 €/ha. Laikutuksen kustannukset olivat vastaavasti 245 €/ha, 237 €/ha ja 284 €/ha. Strandströmin (2008) mukaan vuonna 2007 yhtiöitten mailla äestyksen kustannus oli 146 €/ha. Korhosen ja Kumpareen (1995b) mukaan pelkkä konekylvön kustannus ilman maanmuokkausta oli noin 9 €/ha. Samana aikana käsin kylvön kustannus oli työoloista riippuen 48–97 €/ha. Harstelan (2004) mukaan ilman maanmuokkausta pelkän konekylvön kustannus oli 30–40 €/ha ja käsinkylvön 160–200 €/ha. Konekylvön työkustannusten säästäjä käsin kylvöön verrattuna korostavat myös Korhonen ja Kumpare (1994a ja 1995 b) ja Kinnunen (2003).

Vuoden 2007 istutusmäärä kylvöön verrattuna oli moninkertainen 90 881 ha, josta männyn osuus oli 26 %, kuusen 70 % sekä koivun ja muiden puulajien 4 % (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Istutus maksoi yksityismetsissä 606, metsäteollisuuden 676 ja valtion metsissä 445 €/ha. Hintoihin ei sisälly maanmuokkaus.

Suomessa on nyt käytössä noin sata konekylvölaitetta. Yleisimpiä ovat Bracke TTS:n (2008) myymä Sigma, NewForest Oy:n (2008) myymä SeedGun ja Ramek Oy:n valmistama Top-100. Muita on esimerkiksi Malli/Palonen, Tume MKL 2 sekä Toimi Holck- ja Käpy-kylvölaitteet. Laitteet myydään yleensä erillisinä.

I.2 Tutkimuksen tarkoitus

Konekylvö on tehty perinteisesti äestyksen yhteydessä, jota pääosa olemassa olevia tutkimustuloksiakin kuvaa. Tämän tutkimuksen tavoite on selvittää, onko äkeen lisäksi muilla koneellisilla kylvömaanmuokkaus-menetelmäyhdistelmillä mahdollista perustaa onnistuneita mäntytaimikoita ja mitkä ovat eri menetelmien tuottavuudet ja kustannukset. Taimikoiden onnistuneisuutta kuvataan itämisen ja aina vakiintuneeseen taimikkovaiheeseen johtaneen

taimikon alkukehityksen avulla. Tutkimuskohteeksi valittiin Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan tyypillisiä kylvökohteita.

2 Aineistot

2.1 Koealueet

Koealueiksi valittiin Metsähallituksen mailta kylvöllä uudistettavaksi tarkoitettut kaksi aluetta Kuh-

mosta ja yksi Pudasjärveltä (taulukko 1). Kuhmossa sijaitsevan Louhivaaran KKJ-yhtenäiskoordinaatit ovat P 7160828 ja I 4491249, Vepsän P 7099478 ja I 4460935 sekä Pudasjärvellä sijaitsevan Puhoksen P 7244180 ja I 3548710.

Kaikki koealueet perustettiin variksenmarja-puolukka- (EVT) eli kuivahkon kankaan kasvupaikoille. Louhivaaran (perustettu 1992) ja Puhoksen (1994) maalaji oli hiekkamoreeni, Vepsän (1994) hietamoreeni. Maalajit määritettiin näyteseulontojen perusteella.

Taulukossa 1 on myös kullakin koealueella käytetyt muokkaus-kylvömenetelmät, kylvölaitteet ja

Taulukko 1. Koealueet, kylvöajankohdat ja käytettyjen käsittelymenetelmien tunnukset ja kuvaukset. Muokkausmenetelmän kirjain kertoo pääluokan (A = äestys, B = laikutus, C = jyrästä) ja numero tarkoittaa menetelmän. Kylvölaitteet on selitetty luvussa 2.2.

Kylvöajankohta	Menetelmän tunnus ja nimi	Maanmuokkausmenetelmä	Kylvölaite	Peruskone
Koealue: Louhivaara, Kuhmo				
3.6.1992	A1 Äestys + Metla	Äestys TTS-Delta hydraulipainatus ja -pakkopyöritys	Metla	Metsätraktori Lokomo 933
3.6.1992	A2 Kevyt äestys + Metla	Kevyt äestys TTS-Delta ilman painatusta ja vapaa pyöritys	Metla	Metsätraktori Lokomo 933
3.6.1992	A3 Äestys + Sigma	Äestys TTS-Delta hydraulipainatus ja -pakkopyöritys	TTS-Sigma	Metsätraktori Lokomo 933
3.6.1992	A4 Kevyt äestys + Sigma	Kevyt äestys TTS-Delta ilman painatusta ja vapaa pyöritys	TTS-Sigma	Metsätraktori Lokomo 933
2.6.1992	B1 Laikutus Jigi + Metla	Laikutus JIGI	Metla	Maataloustraktori, neliveto
1.6.1992	C1 Jyrästä + Metla	Jyrästä	Metla	Maataloustraktori, neliveto
2.6.1992	C2 Kevyt Jyrästä + Metla	Kevyt jyrästä	Metla	Maataloustraktori, neliveto
Koealue: Vepsä, Kuhmo				
17.6.1994	A5 Äestys + Top	Äestys :TTS-Delta hydraulipainatus ilman pakkopyöritystä	Top 100	Metsätraktori Kockums 850
16.6.1994	B2 Laikutus Patu + Käpy	Laikutus (Patu M 100)	Käpy M100	Patu-tractorikaivuri
17.6.1994	C3 Jyrästä + Top	Jyrästä	Top 100 -kylvökoneen siemen (kylvö käsin)	Maataloustraktori, neliveto
Koealue: Puhos, Pudasjärvi				
21.6.1994	A6 Äestys + Sigma	Äestys TTS-Delta hydraulipainatus ja -pakkopyöritys	TTS-Sigma	Metsätraktori Ponsse S-20
22.6.1994	B3 Laikutus Holck + Toimi	Laikutus (Holck)	Toimi-kylvökone	Maataloustraktori, telat + apupyörät
21.6.1994	B4 Laikutus Bracke	Laikutus (Bracke)	TTS-Sigma-kylvökoneen siemen (kylvö käsin)	Metsätraktori Ponsse Paz-77

vetokoneet. Kaikkiin tutkimuksessa oleviin muokkaimiin ei ollut saatavissa kylvökoneita. Siksi Puhoksessa Bracken laikkuihin kylvö tehtiin käsin TTS-Sigma-kylvökoneen läpi menneellä siemenellä ja Vepsässä jyrshintäjälkeen TOP-100 -kylvökoneen siemenellä.

2.2 Kylvölaitteet

Kylvölaite Metlan suunnitteli ja rakensi Suomenjoella Martti Kuikka. Läpinäkyvästä siemensäiliöstä JUKO-kylvökoneen jakopyörä annostelee siemen-erän, joka putkia myöten puhalletaan muokkausjälkeen. Saveko Oy:n valmistama *Käpy M100 -kylvölaite* asennetaan kaivurin puomiin, josta se pudottaa reikälevyllä annostellun siemen-erän vapaasti putkea myöten muokkausjälkeen. Laitetta on valmistettu viisi kappaletta.

TOP 100 -kylvölaite sijoitetaan vetokoneen kuormatilaan, josta siemenet puhalletaan paineilmalla muokkausjälkeen. Ohjaamosta säädettävä laite sopii jatkuva-toimisiin muokkaimiin. Muistiin voidaan tallentaa muokkauksen ja kylvön tiedot. Laitetta on käytössä Suomessa n. 30 ja Ruotsissa n. 10 kappaletta.

Vetokoneen kuormatilaan asennettua *TTS-Sigma-kylvölaite* ohjataan elektronisesti ohjaamosta. Haluttu siemenannos puhalletaan putkia myöten muokkausjälkeen. Siemenmäärä annostellaan muokkaimen ajonopeuden mukaan, jolloin annostelu pysyy vakiona pinta-alayksikköä kohti. Tietokoneelle voidaan haluttaessa kerätä kylvön tiedot. Niitä on käytössä Suomessa n. 100 ja Ruotsissa 10 kappaletta (Räikkönen 2005).

Holckin *Toimi-kylvölaite* prototyyppi sopii katkonaisista jälkeä tekeviin muokkailaitteisiin. Säiliöstä reikälevyllä annosteltu siemen-erä puhalletaan paineilmalla muokkausjälkeen.

2.3 Muokkuskoneet

2.3.1 Jyrshintä

Jyrsin oli PelloPlast Oy:n ketjujyrsin malli Ruusunen ja Lassila-prototyyppi. Traktorin ajosuuntaan nähden poikittain pyörivät jyrsinyksikön neljä ketjua rikkovat humuksen ja pintamaan ja osan hakkuu-

tähteistä, joista suurin osa sinkoutuu jyrshintävaan sivulle. Kumipyörät tiivistävät työjäljen, jota syntyy yksi käsittelyura ajokertaa kohti.

2.3.2 Äestys

Äestykset tehtiin kuormatraktorin vetämällä TTS-Delta-äkeillä (vastaava löytyy nykyään Brackelta (Bracke TTS 2008), jotka tekevät kahta uraa kerralla. Vepsän äkeessä oli vain hydraulinen painotus, muilla koaloilla äkeessä oli painotuksen lisäksi hydraulinen lautasten pakkopyöritys.

2.3.3 Laikutus

Laikutusta tehtiin kolmella jatkuvatoimisella laikutu-mätästäjällä ja yhdellä työpisteittäin toimivalla traktorikaivurilla. Edelliset perustuvat piikkipyöriin, joita jarrutetaan mekaanisesti tai hydraulisesti halutuilla kohdilla humuksen repimiseksi ja palteen kasaamiseksi. Kaksirivistä Toimi Holckin *Holck-laikkuria* vedettiin maataloustraktorilla. Laikkujen määrän säätö perustuu vetokoneen voimansiirrosta mitattavaan matkaan, ja laikun pituutta säädetään mekaanisesti lukittavilla jarrutangoilla.

Metsätraktorilla vedettävä kaksi- tai kolmirivinen *Bracke-laikkuri-mätästäjä* (Bracke TTS 2008) on hydraulipainotteinen. Sen asetuksia voidaan säätää peruskoneen ohjaamosta. Maataloustraktorivetoisen yksi- tai useampirivisen Aarre Sinkkilän kehittämän *Jigi-laikkurin* piikkipyöräparin asetukset säädetään mekaanisesti tai hydraulisesti ennen työtä.

Patu M 100 -traktorikaivuri on metsäojitukseen ja metsänviljelyyn tarkoitettu pitkätelainen erikoiskone, joka voi liikkua ja muokata samanaikaisesti. Laikutus tehdään ojakauhan takaosaan asennetulla muokkausharalla.

2.4 Siemenet

Kokeissa käytettiin paikallisia siemeniä, joiden toimittajan ilmoittamat itävyydet olivat 70–91 % (taulukko 2). Tuhannen siemenen paino vaihteli 3,8–4,4 g. Siementen itämistarmoa ei silloin vielä ilmoitettu.

Taulukko 2. Kokeissa käytettyjen siementen alkuperät, itävyydet ja siemenpainot.

Koealue	Alkuperä	Itävyys, %	1000 siementä, g
Louhivaara	Kuhmo	80	4,0
Vepsä	Kuhmo	91	3,8
Puhos	Posio	70	4,4

3 Tutkimusmenetelmät

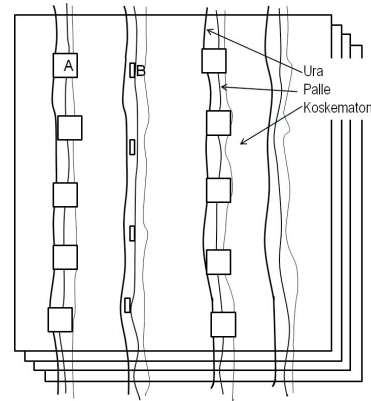
3.1 Yleinen koejärjestely

Kukin kolmesta koealueesta muodosti itsenäisen tilastollisen analyysipohjan, joka jaettiin neljään lohkokon. Näiden sisälle arvottiin satunnaisesti koeruutu kullekin koealueella käytettävissä olevalle menetelmälle. Näin saatiin kaikille käsittelyille neljä toistoa. Koeruudun koko oli Louhivaarassa 12 × 40 m ja Vepsässä ja Puhoksessa 16 × 25 m. Ruudun sisälle ajettiin kaksi tai neljä muokkaus-kylvöjälkeä riippuen koneyhdistelmän työlevydestä. Joka toiseen työpöjälkeen merkittiin sitten tasavälein kymmenen käsittelyruutua (kuva 1, kohde A). Vain näihin työpöjälkeihin kylvettiin koneella. Toiseen muokattuun, mutta ei koneella kylvettyyn työpöjälkeen merkittiin tasavälein neljä itävyydsruutua (kuva 1, kohde B), joihin kuhunkin kylvettiin käsin 21 kylvökoneen läpi mennyttä siementä. Käsittelyruuduilla seurattiin konekylvön onnistumista ja itävyydsruuduilla mitattiin kylvökoneen läpi menneiden siementen itävyyttä.

Tutkimuksen perushypoteesi on, ettei käsittelyiden välillä ole eroa. Nollahypoteesi hylättiin, jos eron todennäköisyys oli pienempi kuin 5 %. Yleinen hajonnan malli on: kokonaisvaihtelu – lohkojen välinen vaihtelu – työmenetelmien välinen vaihtelu. Koealueiden välisiä tuloksia ei siis voitu tilastollisesti verrata toisiinsa poikkeavien sääolojen, maaperien ja erilaisten työmenetelmien takia.

3.2 Konekylvötaiikoiden synty ja kehittyminen

Käsittelyruudun ala oli 0,5 m × 1,0 m. Se merkittiin maastoon samankokoisen metallikehikon avulla.



Kuva 1. Kullekin koealueelle perustettiin kaikille koeil-taville kylvö-muokkausmenetelmille koeruudut, joille neljä toistoa (kuvan isot ruudut). Joka toiseen käsittelyjälkeen kylvettiin siemenet koneella, joka toinen jätettiin tyhjäksi. Koneella kylvettyyn uraan perustettiin 1 × 1 metrin käsittelyruudut (A), joiden koordinaatistoon itäneet siemenet kirjattiin seurantaan varten. Kylvämättömille urille perustettiin itävyydsruudut 13 × 31 cm (B), joilla seurattiin niille kylvettyjen 21 yhden siemenen itämistä. Kuvassa on esimerkki käsittelynä äestys.

Ensimmäisen mittauksen jälkeen tikuilla merkittiin maastoon kehikon kulmien paikat, joten myöhemmillä kerroilla voitiin mittaukset aina suorittaa samalla kohtaa. Taimien sijainti kehikon koordinaatistossa mitattiin. Paljastetun kivennäismaan ja palteen osuus kehikon kokonaisalasta määritettiin. Äestysten ja jyrännän mittauksissa kehikko sijoitettiin ajosuuntaan nähden muokkausuran oikeaan reunaan. Laikutuksessa mittauskehikko sijoitettiin palteen ja laikun liittymäkohtaan. Näiden pysyvästi merkittyjen käsittelyruutujen taimista mitattiin kunkin kasvukauden päätyttyä pituus ja kasvu. Kunkin koealueen sisällä tulosten tilastollista merkittävyyttä testattiin varianssianalyysimallilla ja tilastollisesti merkitsevinä pidettiin $p < 0,05$ arvoja.

3.3 Koneen läpi menneen siemenen itäminen ja taimien kehitys

Konekylvösiementen itävyyttä ja taimien kehitystä testattiin itävyydsruuduilla. Kunkin koealueen kahden kylvöuran koneen kylvämät siemenet kerättiin kan-

gaspusseihin. Näitä siemeniä kylvettiin 21 kappaletta kuhunkin 13 cm × 31 cm kokoiseen itävyysruutuun, joita oli neljä kussakin koeruudussa. Itävyysruuduista laskettiin taimien määrä ja mitattiin niiden pituudet. Ruutujen kaikkien taimien pituudet mitattiin aina kasvukauden loputtua. Itävyysruutujen tuloksia verrattiin käsittelyruutujen tuloksiin (ei tilastollisesti). Itävyysruutujen tulosten välistä tilastollista merkitsevyyttä testattiin varianssianalyysimallilla ja tilastollisesti merkitsevinä pidettiin $p < 0,05$ arvoja.

3.4 Siementen itävyyskokeet

Kylvölaitteiden läpi menneitä siemeniä testattiin myös idätyskokeilla laboratoriossa Jakobsenin idätyspöydällä (Metsäpuiden siementen... 1980). Laitteiden läpimenneistä sekä käyttämättömistä vertailusiemenistä otettiin satunnaisesti kasvualustoille 50 kappaaleen erät neljänä toistona. Idätysaika oli 21 vuorokautta. Siemeneristä määritettiin itäneitten ja rikkoutuneitten siementen prosenttiosuudet.

3.5 Työntutkimus

Muokkaus- ja kylvötyöstä tehtiin aika- ja tuotostutkimus. Kylvökoneet pyrittiin säätämään 300 g:n kylvömäärälle hehtaarille. Urien muokkaus- ja kylvöajanmenekit mitattiin senttiminuutteina. Jokaisesta koeruudusta kerättiin yhdeltä muokkausuralta siemenet kangaspussiin. Laskemalla nämä siemenet saatiin selville tietyllä ajonopeudella ja käsittelymenetelmällä yhdelle käsittelyuralle kylvetty siemenmäärä. Muokkaus- ja kylvöurien ajoaikojen mittaustulosten avulla laskettiin kullekin uralle kylvettyjen siementen määrä.

3.6 Kustannuslaskenta

Kylvön kokonaiskustannukset koostuvat siementen, kylvö- ja muokauskoneen pääoma- ja käyttökustannuksista, kuljettajan palkka- ym. kustannuksista sekä työnohjohtokustannuksista. Varsinaisesti suoraan kylvölle osoitettavia töitä ovat siemenhuolto (siementen hankkiminen, varastointi, kylvökoneen täyttö ja tyhjennys sekä kirjanpito) ja kylvökoneen käyttö.

Kustannuslaskelmissa käytettiin Rummukaisen

ym. (2002) esittämää laskentapohjaa seuraaville koneyhdistelmille:

- vedettävä Bracke M26a -laikkumätästäjä + käytetty metsätraktori + Sigma-kylvökone
- Bracke T26a -äes (korvaa TTS äkeen) + käytetty metsätraktori + Sigma-kylvökone
- vedettävä kaksirivinen Holck-laikkuri + käytetty metsätraktori + Sigma-kylvökone
- kaksirivinen ketjujyrsin + raskas nelivetomaataloustraktori + Sigma-kylvökone
- laikkurikauha + käytetty tela-alustainen kaivinkone + SeedGun-kylvökone

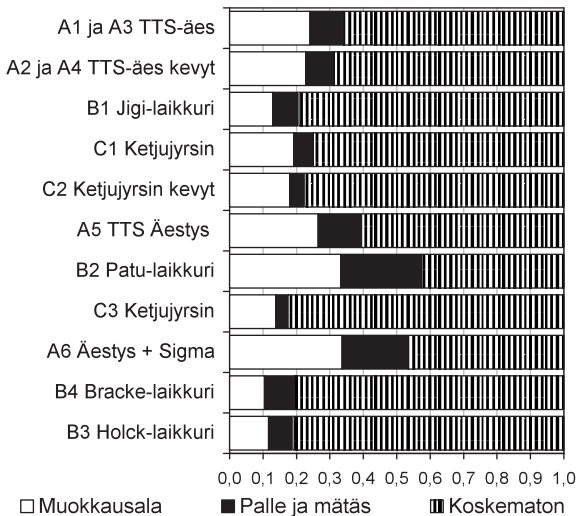
Peruskoneet oletetaan hankituksi käytettyinä. Vuotuinen kylvökoneen työaika arvioitiin kahdeksi kuukaudeksi. Bracke- ja Holck-mätästäjiä sekä Bracke-ästä arvioitiin tämän lisäksi voitavan käyttää kolme kuukautta vuodessa pelkkään maanmuokkaukseen. Jyrsimen maataloustraktorin ja kauhalaikkurin kaivinkoneen katsottiin tekevän muuta työtä seitsemän kuukautta vuodessa. Maanmuokkaus- ja kylvölaitteet olivat laskelmissa uusia ja kustannuksina käytettiin nykyisin markkinoilla olevien koneiden hintoja, jatkuvatoimisten koneiden yhteydessä Sigma-kylvökoneetta ja kaivurilaikutuksessa SeedGun-kylvökoneetta.

Laskelmissa ovat mukana peruskoneiden sekä muokkaus- ja kylvölaitteiden pääoma-, huolto- ja korjauskustannukset, kuljettajien palkkakustannukset, yrittäjän yleiskustannukset sekä työmaiden väliset koneiden siirtokustannukset vuoden 2008 kesän kustannustasolla. Koneita käytettiin 21 päivää kuukaudessa yhdessä 10 tunnin vuorossa. Työmaiden kooksi oletettiin kaksi hehtaaria ja työmaiden väliseksi siirtomatkaksi 30 km. Maataloustraktorikäyttöinen jyrsinyhdistelmä siirrettiin ajamalla ja muut koneet kuljetuslavetilla. Keskimäärin kylvetään 300 g/ha siementä, josta 500 €/kg hinnalla siemenkustannukseksi tuli 150 €/ha.

4 Tulokset

4.1 Maanmuokkausjälki

Paljastetun kivennäismaan osuus riippuu muokausmenetelmästä, uravälistä, maastosta, hakkuutahteiden määrästä ja muokauslaitteen säädöistä.



Kuva 2. Muokatusmenetelmien osuus kokonaisalasta eri muokausmenetelmillä.

Puhoksella normaalisti painotetulla äestyksellä paljastetun kivennäismaan ja palteen osuus oli puolet kokonaisalasta (kuva 2). Louhivaaran koalueella kevyesti äestetyllä alueella paljastetun kivennäismaan osuus oli vain kolmasosa kokonaisalasta. Keskimäärin äkeet paljastivat 23 % kivennäismaata ja palteen osuus oli 11 %.

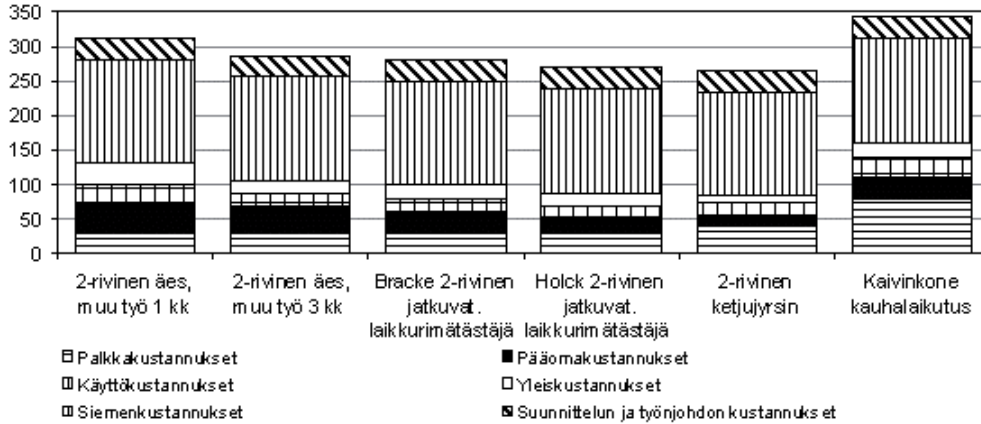
Traktorikaivuri Patulla tehdyllä laikutuksella ja Puhoksella äestyksellä paljastetun kivennäismaan osuus oli yli puolet kokonaisalasta. Jigi-, Holck- ja Bracke- laikkurien paljastama kivennäismaan ja mättään osuus oli keskimäärin viidennes kokonaisalasta. Käsitellystä alasta kaksi kolmasosaa oli paljastettua kivennäismaata ja yksi kolmasosa palleeta. Kokeessa olleen ketjujyrsimellä paljastetun kivennäismaan osuus oli pienin.

4.2 Työn tuottavuus

Maanmuokkaus-kylvökoneyhdistelmien tuottavuudet (taulukko 3) selvitettiin mittaamalla koealojen urapituudet ja yhdistelmien jokaisen uran suoraan ajonopeudet. Ajanmenekkimittauksissa ei erikseen selvitetty tavanomaiseen työhön liittyviä kääntymisiä ja peruutuksia. Niiden osuudeksi arvioitiin 10 %. Pienemmillä työmailla kääntymisten suhteellinen osuus hieman kasvaa, suuremmilla vähenee. Näin saatiin kullekin koneyhdistelmälle työn tuottavuus tehoaikaa kohden (taulukko 3). Yksirivisten Jigi-laikkurin ja jyrsimen tuottavuudet on laskettu kaksirivisen yksikön mukaisena. Hehtaaritulos on laskettu kaikille koneyksiköille 2222 metrin ajomatkan mukaan.

Taulukko 3. Maanmuokkaus-kylvökoneyhdistelmien mitatut ajonopeudet ja niistä johdetut tehoajan työn tuottavuudet.

Menetelmä	Ajonopeus, km/tunti	Koealan yhden uran pituus, m	Työn tuottavuus tehoaikaa kohti, hehtaaria/tunti
Louhivaara			
A1 Äestys + Metla	3,81	40	2,05
A2 Kevyt äestys + Metla	3,64	40	1,96
A3 Äestys + Sigma	3,87	40	2,10
A4 Kevyt äestys + Sigma	4,07	40	2,20
B5 Laikutus Jigi + Metla	1,89	40	1,03
C6 Jyrshintä + Metla	1,85	40	0,99
C7 Kevyt Jyrshintä + Metla	1,89	40	1,03
Vepsä			
A5 Äestys + Top	2,93	25	1,40
C3 Jyrshintä + Top	2,39	25	1,10
B2 Laikutus Patu + Käpy	1,44	25	0,41
Puhos			
A6 Äestys + Sigma	2,73	25	1,31
B3 Laikutus Holck + Toimi	2,60	25	1,25
B4 Laikutus Bracke + Sigma	3,31	25	1,58



Kuva 3. Konekylvön kokonaiskustannukset eri menetelmillä.

Louhivaarassa äestysten tuottavuus oli 2 ha/t, Vepsässä ja Puhoksella kolmanneksen pienempi (taulukko 3). Äestys oli kullakin koalueella tuottavin, lukuun ottamatta Puhosta, jossa Bracke-laikkuri oli hieman nopeampi. Jyrsinnan tuottavuus jäi yhteen hehtaariin tunnissa. Kaivuriperustaisen Patu-laikkurin tuottavuus oli kaikkein pienin, mutta sillä tehtiinkin eniten muokkausjälkeä (kuva 2). Maataloustraktorilla vedettyjen yksirivisten Jigi- ja Holck-laikkureiden tuottavuudet olivat lähellä toisiaan.

4.3 Kustannukset

Äes ja kylvökone -yhdistelmän kustannukset olivat 106–131 €/ha peruskoneen käyttöasteen mukaan (kuva 3). Edullisin menetelmä oli jyrsintä, jonka kustannus oli 83 €/ha (kustannus laskettu kahden jyrsinyksikön mukaisena). Jatkuvatoimisten mätästäjien laskelmien mukaiset maanmuokkauksen kustannukset olivat 89–100 €/ha.

Kuormatraktoreilla vedettävät äkeet ja laikkumätästäjät pystyivät tämän tutkimuksen laskentaperusteilla muokkaamaan ja kylvämään 275–350 hehtaaria kahdessa kuukaudessa. Maataloustraktorivetoisella jyrsimellä voidaan muokata ja kylvää 250 hehtaaria ja kaivinkonealustaisella kauhalaikkurilla 125 hehtaaria. Laskelmissa on otettu huomioon arvio huolto-, keskeytys- ja siirtoajoista.

Koneyhdistelmien työnjohtokustannuksiksi tuli laskelmissa 31 €/ha ja siemenkustannuksiksi 150 €/ha. Näin jyrsintämenetelmällä yhden hehtaarin maanmuokkaus ja kylvö männylle maksaisi 228 €/ha (alv 0). Holck-laikkurin ja kylvön kokonaiskustannus olisi 269 €/ha ja jatkuvatoimisen 2-rivisen Bracke-laikkumätästäjän 280 €/ha. Kaivinkoneyhdistelmällä kylvön kokonaiskustannus oli 342 €/ha ja äestys-kylvöyhdistelmällä keskimäärin 299 €/ha. Koneyhdistelmien pääomakustannukset ja käyttömahdollisuus muissa tehtävissä saavat aikaan esimerkiksi sen, että äestys on suuremmasta työn tuottavuudesta huolimatta jyrsintää kalliimpaa.

4.4 Kylvetyt siemenmäärät

Kylvömäärät riippuvat työmenetelmästä, koneiden säädöistä ja ajonopeudesta. Vepsässä ja Puhoksella kylvömäärät jäivät selvästi Louhivaaraa pienemmäksi (taulukko 4).

Vepsässä jyrsintäaloilla ja Puhoksessa Bracken laikutuksissa konekylvöä jäljiteltiin käsinkylvöllä. Vepsässä jyrsintäjälkeen kylvettiin TOP-100-kylvökoneen läpi mennyttä siementä ja Puhoksessa Sigman siementä Bracken laikutusjälkeen.

Kylvökoneiden läpi menneiden siementen vaurioita selvitettiin 200 siemenen otannalla. Särkyneiden siemenien osuus Holckin koneella oli 4 %, Käpy-kylvökoneella 6 % ja Metlan kylvökoneella

Taulukko 4. Kylvökoneiden kylvämät keskimääräiset siemenmäärät.

Viljelymenetelmä	Kylvettyjen siementen määrä, g/ha
Louhivaara	
A1 Äestys + Metla	286
A2 Kevyt äestys + Metla	302
A3 Äestys + Sigma	227
A4 Kevyt äestys + TTS Sigma	216
B1 Laikutus Jigi + Metla	394
C1 Jyrsintä + Metla	376
C2 Kevyt jyrsintä + Metla	357
Vepsä	
A5 Äestys + Top	174
B2 Patu laikutus + Käpy	178*
C3 Jyrsintä + Top	300**
Puhos	
A6 Äestys + TTS Sigma	103
B3 Holck laikutus + Toimi	190
B4 Laikutus Bracke + Sigma	300**

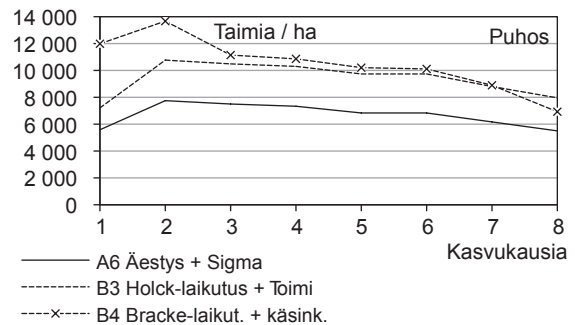
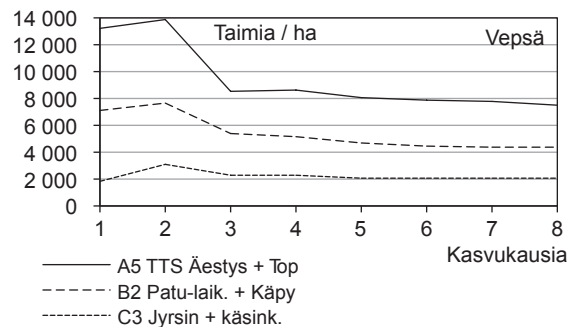
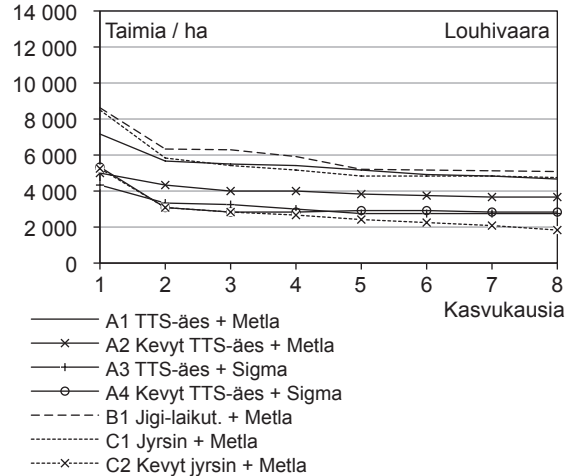
* Siemenmäärä oli keskimäärin 15 siementä/kylvökohta yht. 3000 kylvökohtaan

** Kylvettiin käsin.

3–6 % kylvökoneen asetuksista riippuen. Top 100 ja TTS-Sigma-kylvökoneen läpi menneissä siemenissä ei havaittu rikkoutumista. Koneiden väliset erot johtuivat pääosin laitteiden annostelutekniikan toteutuksesta.

4.5 Taimettuminen käsittelyruutujen tulosten mukaan

Taimettumisen onnistuminen riippuu siemenen itävydestä, säästä, kylvetystä siemenmäärästä, muokatun alueen ulkopuolelle osuneesta kylvöstä sekä muokkausmenetelmän tehokkuudesta. Kaikkia näitä tekijöitä ei voitu erottaa, joten tulokset kuvaavat käytännössä toteutunutta tilannetta. *Louhivaarassa* toisen kasvukauden käsittelyruutujen mittauksissa kevyellä äestyksellä ja Sigma-kylvökoneella taimettuminen oli tilastollisesti merkitsevästi heikompaa kuin normaali-äestyksellä tai voimakkaalla jyrsinnällä ja Metlan kylvökoneella. *Louhivaarassa* mitattiin yhteensä 395 käsittelyruutua, sata kussakin lohossa, pois lukien yhdestä lohokosta ajovirheen takia puuttuvat 5 ruutua. Muina kasvukausina ja muiden menetelmien välillä ei ollut merkitseviä eroja. *Louhivaaran* koelohkojen



Kuva 4. Kylvöalojen taimimäärien kehitys menetelmittäin, tainta hehtaaria kohti.

välillä havaittiin myös merkitseviä itämiseroja.

Vepsässä äestyksellä ja Top 100 -kylvökoneella saatiin tilastollisesti merkitsevästi enemmän taimia kuin jyrsintäjälkeen tai Patu-kaivinkoneen laikutusjälkeen kylvettäessä. *Vepsässä* mitattiin 60 käsittelyruutua lohossa, yhteensä 240 ruutua. Tilanne

säilyi samansuuntaisena koko seurantajakson ajan. Jyrsinnän ja Patu-laikutuksen välillä ei ollut merkitsevää eroa.

Puhoksella äestyksellä ja Sigma-kylvökoneella saatiin tilastollisesti merkitsevästi vähemmän taimia kuin muilla menetelmillä eron säilyessä merkitsevästi koko tarkastelujakson ajan. *Puhoksella* mitattiin 364 käsittelyruutua. Muokkausongelmista johtuen lohkoittainen ruutumäärä vaihteli 89–94:ään. Muista koealueista poikkeavaa äestysten heikkoa taimettumistulosta *Puhoksella* selittänee se, että kontrollin mukaan Sigma kylvi lähes puolet vähemmän siemeniä kuin Holck-laikkurin kylvökone. Suurempi siemenmäärä äestysjäljessä olisi todennäköisesti tuottanut suuremman taimimäärän, johon viittaavat myöhemmin esitettävät pienruututarkastelut.

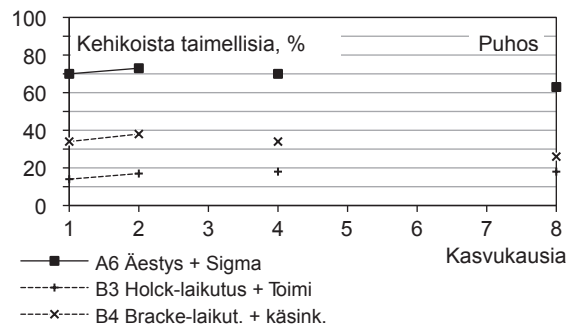
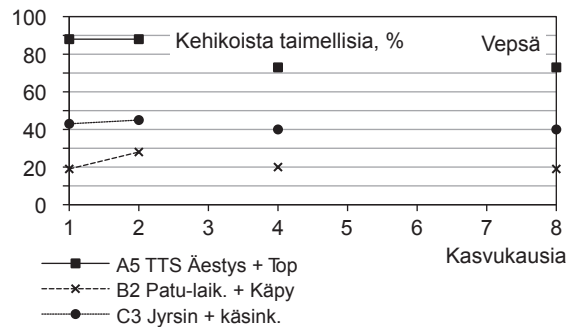
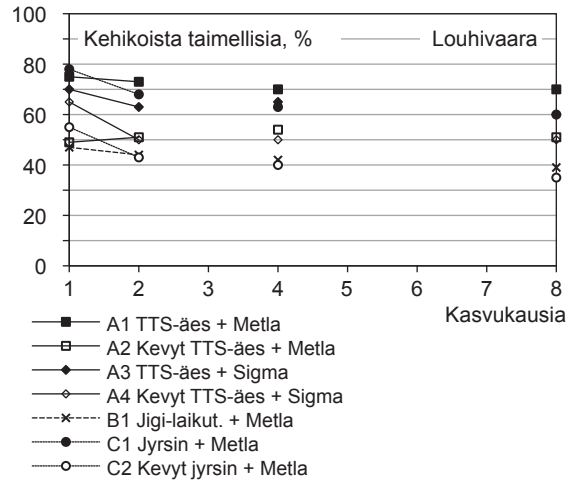
Louhivaarassa hehtaarikohtaiset taimimäärät laskevat ensimmäisen kasvukauden jälkeen (kuva 4). Vepsän ja Puhoksen koealueilla jälki-itäminen nosti taimimääriä toisena kasvukautena.

4.6 Taimikoiden tasaisuus

Koaloille syntyneiden taimien keskimäärälukuun on laskettu kaikki taimet kussakin käsittelyruudussa. Näin pienellä alalla kannattaa kuitenkin kasvateta eteenpäin vain yksi puu eli ylimääräiset taimet joudutaan poistamaan taimikon perkauksessa tai harvennuksessa. Tavoitteena on tasarakenteinen taimikko, joten tyhjen käsittelyruutujen osuus selittää taimikon tasaisuutta.

Louhivaarassa enimmillään 70 %:ssa käsittelyruuduista oli vähintään yksi taimi (kuva 5). Taimellisten ruutujen osuus laski hidastuen kasvukausien edetessä. Parhaiksi kahdeksan kasvukauden jälkeen jäivät normaalisti äestetyt ja normaalisti jyrsityt koealat. Kevyesti äestetyillä ja kylvetyillä aloilla vain puolessa käsittelyruuduista oli vähintään yksi taimi jäljellä kahdeksan kasvukauden jälkeen. Laikutetuilla alueilla taimellisten käsittelyruutujen osuus oli koko ajan vähemmän kuin puolet. Laikutettujen ja kevyesti jyrsittyjen alueiden taimellisten ruutujen osuus oli tilastollisesti merkitsevästi vähäisempi kuin normaalisti äestettyjen ja jyrsittyjen alojen taimellisten ruutujen osuudet.

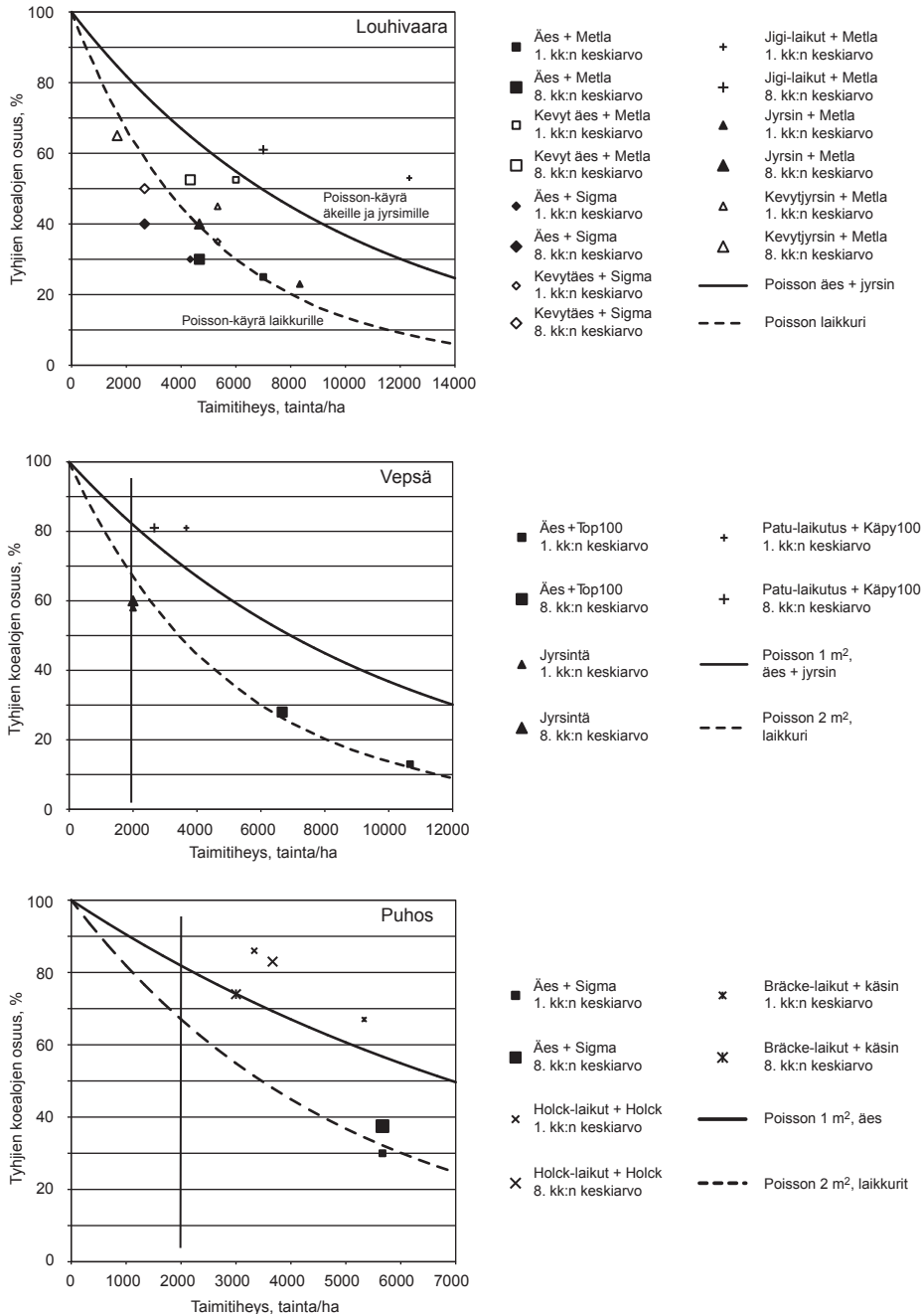
Vepsässä ja Puhoksella taimellisten käsittelyruutujen osuuksien erot menetelmien välillä olivat



Kuva 5. Vähintään yhden taimen sisältäneiden mittauskehikoiden prosenttiosuus kaikista mittauskehikoista.

suuremmat kuin Louhivaarassa (kuva 5). Vepsässä äestys tuotti laikutukseen ja jyrsintään verrattuna tilastollisesti merkitsevästi enemmän taimellisia ruutuja.

Puhoksella (kuva 5) kaikki menetelmät erosivat alussa merkitsevästi toisistaan. Kahdesta laikutusme-



Kuva 6. Koealoittaiset hehtaarikohtaiset taimitiheydet ja tyhjiä koerutujen osuuksien suhdelukujen vertailut. Kustakin viljelymenetelmästä esitetään ensimmäisen (pieni merkki) ja kahdeksannen (suuri merkki) kasvukauden jälkeisten mittausten keskiarvot. Taimikon tavoitettiheytenä pidetään 2000 tainta/ha, joten onnistuneen taimikon suhdelukujen tulee sijaita pystyviivan oikealla puolella (Pohtila 1980). Taimikon riittävää tasaisuutta osoittavat tulokset sijoittuvat Poisson-käyrän alapuolelle. Yhtenäinen ylempi Poisson-käyrä (yhden neliömetrin koeala) koskee äestystä ja jyrnsintää, alempi (kahden neliömetrin koeala) kaikkia laikutukseen perustuvia menetelmiä.

netelmästä Bracke-laikkumätätäjällä saatiin enemmän taimellisia käsittelyruutuja kuin Holck-laikkurilla. Kahdeksannen kasvukauden jälkeen laikutusmenetelmien välillä ei ollut enää merkitseviä eroja, mutta äestys oli laikutuksia merkitsevästi parempi.

Syntyneiden taimikoiden tasaisuuden tarkasteluun käytettiin toisena menetelmänä Pohtilan (1980) taimikon tiheyden määrittämisessä käyttöön ottamaa taimien lukumäärän ja tyhjien käsittelyruutujen määrän suhdelukua, jota verrataan Poisson-käyrään. Tämä arvo heikkeni kaikilla menetelmillä verrattaessa ensimmäisen ja kahdeksannen kasvukauden jälkeisiä tuloksia. Taimitiheys väheni ja tyhjien koealojen määrä lisääntyi. Pohtilan (1980) mukaan riittävä tasaisen taimikon tiheys on 2 000–2 500 tainta/ha.

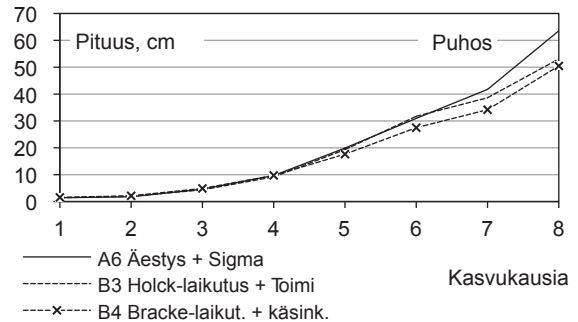
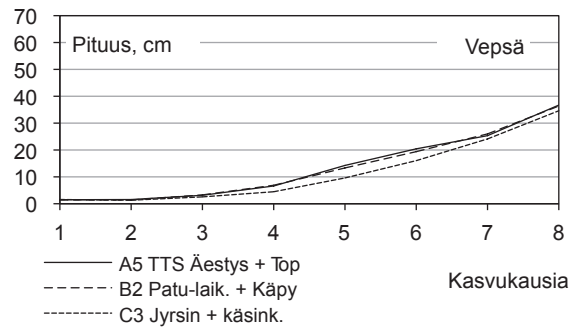
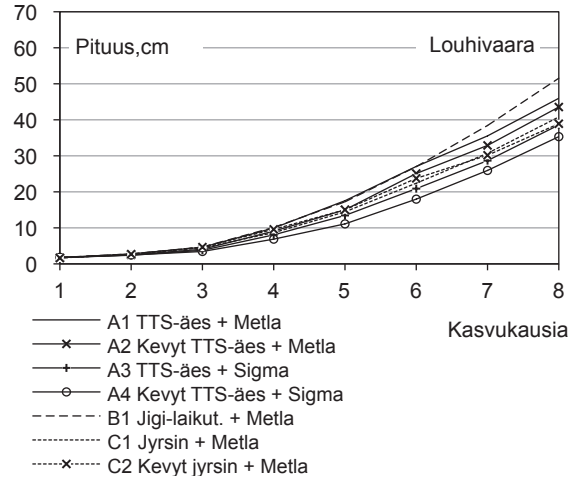
Louhivaarassa Jigi-laikutus ja Metla-kylvökoneen yhdistelmä ei tuottanut riittävän tasaista taimikkoa (kuva 6). Kevyellä jyrinnällä ja Metlan kylvökoneella perustettu taimikko jäi kahdeksannen kasvukauden jälkeen alle tavoitetiheyden. Kaikilla äestykseen perustuvilla menetelmillä saavutettiin tavoitetaimikko kuten myös voimakkaaseen jyrintään perustuvalla menetelmällä.

Vepsässä ja Puhoksella äestykseen perustuvat menetelmät tuottivat riittävän tiheän ja tasaisen taimikon, kuten myös jyrintään perustuva menetelmä Vepsässä (kuva 6). Laikutukseen perustuvat menetelmät eivät kummallakaan alueella pystyneet tuottamaan riittävän tasaista taimikkoa, vaikka konnaistaimimäärä oli riittävä.

4.7 Taimien kasvu

Käsittelyruuduista mitattiin kaikkien taimien pituudet ja tulokset esitetään ruudun taimien pituuksien keskiarvona. *Louhivaarassa* taimien keskimääräiset pituuskasvut eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan neljän ensimmäisen kasvukauden aikana (kuva 7). Kahdeksan kasvukauden jälkeen Jigi-laikkurilla ja Metlan kylvökoneella (menetelmä B1) tuotetut taimet olivat merkitsevästi pidempiä kuin äestys- tai jyrintäjälkeen kasvaneet taimet.

Vepsässä eri menetelmillä kylvettyjen taimien keskipituuksien välillä oli merkitseviä eroja ainoastaan toisen ja kolmannen kasvukauden aikana, jolloin äestysjäljessä taimien keskipituus oli muita menetelmiä merkitsevästi pidempi. Neljännen kas-



Kuva 7. Taimien pituuskehitys menetelmittain kolmella koealueella kahdeksan kasvukauden aikana.

vukauden jälkeen erot eivät enää olleet merkitseviä.

Puhoksella ensimmäisen ja toisen kasvukauden jälkeen Bracken laikutusalioilla taimien keskipituus oli merkitsevästi pidempi äestykseen ja Holck-laikkurilla muokattuihin koealoihin verrattuna.

4.8 Itävyyssruutuvertailut

Muokkausmenetelmien välisiä eroja siementen itävyyteen selvitettiin inventoimalla muokkausjälkeen rajatut (13×31 cm) itävyyssruudut, joihin kuhunkin kylvettiin käsin 21 kylvökoneen läpi mennyttä siementä. Menettelyllä voitiin vakioda konekylvössä ilmennyt siemenmäärän vaihtelu, joka vaikeutti käsittelyruutujen tulosten tulkintaa. Näitä itävyyssruutujen tuloksia voidaan siis käyttää muokkausmenetelmien ja niihin liittyvien kylvökoneiden läpi menneiden siementen itävyyssruutuihin. Tulokset laskettiin koalueiden inventointituloksista ensimmäisen, toisen ja neljännen kasvukauden jälkeiselle tilanteelle. Louhivaarassa kylvettiin 112 kahdenkymmenen siemenen itävyyssruutua per lohko, eli 112 koko alueella, jolloin kokonaisuudessaan kylvettiin 2352 siementä koaluetta kohti. Puhoksella ja Vepsässä kylvettiin 12 kahdenkymmenen siemenen itävyyssruutua per lohko, eli 48 kullekin alueelle. Kylvetty siemenmäärä oli siten 1 008 siementä per koalue.

Parhaat itävyyssruutut saatiin Puhoksella. Toisen kasvukauden päätyttyä jälki-itämisen seurauksena kaikkien menetelmien itävyyden keskiarvo oli 20 %. Huonoin itävyys oli Vepsässä. Jälki-itävyys paransi tuloksia jonkin verran toisella kasvukaudella, mutta neljännen kasvukauden jälkeen elossa olevien taimien osuus oli pudonnut vähimmillään 7 %:iin. Louhivaarassa kaikkien menetelmien keskimääräinen itävyys oli 14 % ensimmäisen kasvukauden jälkeen. Jälki-itävyys oli vähäistä, joten elossa olevien taimien määrä alkoi tasaisesti pudota ensimmäisen kasvukauden jälkeen.

Parhaimmat itävyyssruutut saatiin laikutusjäljessä. Ero oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevää vain Louhivaarassa ja Vepsässä ensimmäisen kasvukauden jälkeen. Jyrsintäjälki osoittautui itämisen suhteen huonoimmaksi muokkausmenetelmäksi. Ero oli tilastollisesti merkitsevää vielä kahden kasvukauden jälkeen.

Neljän kasvukauden jälkeen Louhivaaran ja Vepsän jyrsintäaloilla taimimäärät olivat edelleen muita menetelmiä pienempiä, mutta erot eivät olleet enää tilastollisesti merkitseviä. Puhoksella elossa olevat taimien määrät olivat pienimmät äestysjäljessä, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Itävyyssruutuvertailuissa ensimmäisten neljän kasvukauden jälkeen taimien keskipituuksissa ei ollut

tilastollisesti merkitseviä pituuseroja eri kylvömuokkausmenetelmien välillä millään koalueella. Kussakin ruudussa mitattiin kaikkien taimien pituudet.

5 Tulosten tarkastelu

5.1 Koneellisen kylvön onnistumisesta

Kokeisiin pyrittiin valitsemaan kasvuolosuhteiltaan mahdollisimman samanlaiset alueet, mutta selvästikin Vepsän maaperäolot olivat pituuskasvun perusteella heikoimmat ja Puhoksen parhaimmat (kuva 6). Kylvöt tehtiin kahtena eri vuotena, joten mahdollisia sääerojen vaikutuksia voitiin ehkä nähdä esimerkiksi jälki-itävyyksien eroina (kuva 3). Myös siksi koalueiden välisiä eroja ei voida vertailla tilastollisesti keskenään. Työmenetelmien välisiä vertailuja vaikeuttivat myös käytännön työn ongelmat, kuten kylvökoneiden siemenmäärien säätöongelmat (taulukko 4). Sen vuoksi verrattiin työpöytätehtyjen koalamittausten lisäksi maanmuokkausjäljen ja kylvökoneiden siemeniä mahdollisesti rikkovaa vaikutusta itävyyssruutukylvöllä.

Lajittuneilla mailla, erityisesti kuivahkolla ja kuivilla kankailla on saatu parhaat kylvötulokset itämisen, taimettumisen sekä puun laadun suhteen (Kinnunen ja Linnimäki 1978, Kinnunen ja Nerg 1982, Saksa 1986, Viitala 1991, Kankaanhuhta ym. 2009). Hienojakoisemmilla ja kosteammilla mailla muun kasvillisuuden ja varsinkin heinien kilpailu tukahduttaa taimia. Hienojakoisimmassa (hietamoreeni) Vepsässä taimien keskipituus oli kahdeksan kasvukauden jälkeen yleisesti ottaen lyhempi kuin hiekkamoreenisissa Louhivaarassa ja Puhoksella (kuva 6), joka voisi viitata hiekkamoreenin sopivan paremmin männyn kylvöön. Käsittely- ja tyhjääruututulokset (kuvat 4 ja 5) vaihtelevat niin paljon menetelmien välillä, ettei niistä voida tehdä edes arviota maalajin vaikutuksesta.

Kylvövuosien väliset sääerot vaikuttavat siementen itämiseen. Kosteus ja lämmin kasvukausi on antanut paremman tuloksen kuin kuiva (Kinnunen 1982, Winsa ja Sahlen 2001). Vuosien väliset erot ovat myös hävinneet muiden tekijöiden vaihteluun (Wennström ym. 2007). Männyn parhaat kylvö-

tulokset on saatu kevätkylvöistä ennen heinäkuuta tai sitten elo-syyskuussa (Wibeck 1927, Kinnunen 1982 ja 1992, Winsa 1995, de Chantal ym. 2003b). Kuivuus haittaa keskikesällä ja syyskylvössä siemenet eivät aina ehdi itää tai hennot idut eivät kestä roudan liikkeitä.

Kosteuden vaikutusta tukisi tässä tutkimuksessa jälki-itämisen selvä esiintyminen Vepsässä ja Puhoksessa (kuva 3). Kuhmon sääaseman sade- ja lämpötilatilastojen mukaan ensimmäinen kylvön jälkeinen kesä oli lämmin ja kuiva. Toisena kasvukautena jo heinäkuu oli sateinen ja elokuun sademääräksi mitattiin silloin peräti 149 mm. Siementen itämisolosuhteet olivat siten edulliset edellisenä kuivana kesänä kylvetyille itämättömille siemenille. Louhivaaran koealueen sääolosuhteet olivat jo kylvövuonna varsin suotuisat, joten jälki-itämistä ei enää tavattu. Sirén (1952) ja Yli-Vakkuri (1961) havaitsivat jälki-itämistä, Lassila (1920) jopa kolmena vuotena. Wibeckin (1917) mukaan jälki-itäminen on todennäköisempää pohjoisessa, etelässä siemenet tuhoutuvat nopeammin. Etelä-Suomessa ei uskota merkittävään jälki-itämiseen, koska siementen selviytyminen talven yli heikentyy leutojen talvien aiheuttamien sieni- ja kasvitauti- sekä eläintuhojen takia (Oikarinen ym. 1995). Tässä kokeessa ei havaittu tukkimiehentäituhuja.

Korhosen ja Kumpareen (1994b) konekylvetyillä aloilla männyn taimien määrä vaihteli kuivahkolla kankaalla äestyksessä 4300–11 600 ja vastaavasti tuoreella kankaalla 2700–4900 tainta/ha. Tässä tutkimuksessa taimia oli kahdeksan kasvukauden jälkeen eniten Puhoksen Holck- ja Bräcke-laikutuksissa (7000 ja 8000 kpl/ha), Vepsän äestyksessä (7500 kpl/ha) ja Louhivaaran Jigi-laikutuksessa ja voimakkaassa jyrinnässä (5000 ja 4800 kpl/ha). Onnistuneessa kylvössä tavoiteltavana kasvatettavien taimien määränä pidetään yleensä 3000 tainta/ha ja niiden suhteellisen tasaista jakautumista uudistusalueelle (Saksa ym. 2005). Tavoitteet saavutettiin useimmilla menetelmillä taimimäärän osalta (kuva 3). Vain Louhivaarassa kevyt jyrintä ja Sigma-kylvetyt äestykset sekä Vepsässä jyrintä jäivät alle 3000 taimen hehtaarilla. Tapion hyvän metsänhoitosuosituksen (2006) minimimäärä on 4000–5000 kpl/ha. 4000 taimen alaraja ylittyi Louhivaarassa vain TTS-äes-Metla, Jigi-laikkuri-Metla ja jyrin-Metla yhdistelmillä. Vepsässä rajan

alle jäi vain jyrintä. Puhoksella kaikki menetelmät tuottivat hyväksytyyn taimimäärän.

Taimikon tasaisuutta arvioitiin kahdella tavalla. Taimettomien käsittelyruutujen osuuden mukaan Vepsän Patu- ja Puhoksen Holck- ja Bräcke-laikutettujen alojen taimellisten ruutujen osuus jäi alle 40 prosenttiin (kuva 4). Pohtilan (1980) taimikon tiheyteen ja tyhjien ruutujen osuuteen perustuvan arvion mukaan Louhivaarassa Jigi-laikutetut, Vepsässä Patu- ja Puhoksella Holck- ja Bräcke-laikutetut alat jäivät alle tavoitteen (kuva 5). Laikutusalaille saatiin yleensä riittävästi taimia, mutta uudistusala jäi usein aukkoiseksi.

Parhaat itävyysruuduilla mitatut itävyytulokset saatiin Puhoksella. Toisen kasvukauden päätyttyä jälki-itämisen seurauksena kaikkien menetelmien itävyyden keskiarvo oli 20 %. Huonoin itävyys oli Vepsässä. Jälki-itävyys paransi tuloksia jonkin verran toisella kasvukaudella, mutta neljännen kasvukauden jälkeen elossa olevien taimien osuus oli pudonnut vähimmillään 7 %:iin. Vepsän hienojakoisempi maalaji on alttiimpi pintaroutatuhoille, joka selittäisi toisen kasvukauden suurta kuolleisuutta. Louhivaarassa kaikkien menetelmien keskimääräinen itävyys oli 14 % ensimmäisenä kasvukautena.

Taimien pituuskasvussa ei kahdeksan kasvukauden jälkeen ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Taimien keskipituus eri koealueilla oli tässä tutkimuksessa neljän kasvukauden jälkeen vajaa 10 cm ja kahdeksan 35–65 cm. Parhain kasvu oli Puhoksen koealueella. Pohtilan ja Pohjolan (1985) mukaan Lapin auratuilla kylvökoaloilla taimien keskipituus oli kymmenen kasvukauden jälkeen 52–68 cm. Lieksan ja Rautavaaran kylvöjen keskipituus oli yhdeksänvuotiaana 80 cm tuoreiden kankaiden aurauksessa ja yksitoistavuotiaana 150 cm kuivien kankaiden laikutuksessa (Saksa 1986). Hyppösen ym. (2008) muokattujen koealojen taimien keskipituus oli 18 kasvukauden jälkeen noin kaksinkertainen muokkaamattoman alan taimien keskipituuteen verrattuna.

5.2 Maanmuokkaus

Paljastuneen kivennäismaan ja palteen osuus oli suurin Patu-kaivurilaikutuksessa (58 %). Patun kuljettaja tavoitteli hyvää työjälkeä paljastamalla paljon kivennäismaata. Tosin liian voimakas muokkaus

lisää ravinteiden huuhtoutumista ja lehtipuuvesakon määrää sekä nostaa taimikonhoitokustannuksia (Harstela 2004). Kaivinkoneella tehtävillä kantojen nostotyömailla paljastuneen maanpinnan osuus on keskimäärin 66 % (Äijälä 2005).

Jatkuvatoimisilla muokkaimilla muokatun alueen osuus riippuu ajolinjojen välisestä etäisyydestä ja muokkauslaitteiden säädöstä. Tulokseen vaikutetaan säätämällä muokkauspisteiden välistä etäisyyttä (laikkurit ja mätästäjät) ja muokkainten asentoa tai painatusta. Äestyksessä kivennäismaan ja palteen osuus oli 31–53 % pinta-alasta. Vepsässä ja Puhokella äestä painotettiin enemmän kuin Louhivaarassa, joka johti suurempaan muokatun pinta-alan osuuteen ja pienempään työn tuottavuuteen. Jatkuvaa uraa tekevällä äkeellä eroosio- ja vesottumisriski kasvaa käsittelyn voimistuessa. Mätästys sopii äestystä paremmin istutukseen parempien kasvuolosuhteiden, tukkimiehentäin ja kilpailevan kasvillisuuden eston sekä vähäisemmän eroosion takia, joten äestyksen käyttö tulevaisuudessa rajoittunee lähinnä kylvöön. Samoin käynee jyrtsinnälle.

Jatkuvatoimisilla laikkureilla ja jyrtsinnällä paljastuneen kivennäismaan ja palteen osuus oli keskimäärin 20 %. Korhosen ja Männyn (1991) tutkimuksessa paljastetun/muokatun maan pinta-alan kasvattaminen lisäsi kylvötaimikon tiheyttä (4000 tainta/ha, kun muokatun maan osuus oli 20 %). Ruotsalainen vedettävä Donhög-laikkuri, joka vastaa tämän tutkimuksen Jigi-laikkuria paljasti 42 % ja TTS-Delta-äestä vastaava Donaren 190 -äes 23 % kivennäismaata (Fryk 1989). Teollisuuden ja valtion metsissä ei-jatkuvien mätästykseen ja laikutuksen osuus muokkauksesta oli 61 % jo 2007 (Strandström 2008). Jatkuvatoimiset laikkumätästäjät ja kaivinkonealustainen kauhalaikkuri sopivat myös istutuksen muokkaukseen, joten käyttö voisi lisääntyä kylvössäkkin, mutta tämän tutkimuksen tulokset taimikoiden aukkoisuudesta antavat aiheita miettimiseen.

Aukkoisuutta voitaisiin ehkä vähentää Ruotsissa ja sitten Suomessakin kokeillulla pienkuoppien tekemisellä (Kinnunen 1992, Winsa ja Bergsten 1994, Winsa 1995, Winsa ja Sahlén 2001, Bergsten 1988). Pienissä painaumuissa siemenet itivät paremmin kuin vertailuruuduissa, jotka oli kylvetty tavanomaisesti muokattuun maahan. Peittämisen on todettu parantavan taimettumista (Yli-Vakkuri ja Räsänen 1971,

Kinnunen 1982 ja 1992, Rummukainen ym. 2004). Råbackin (1996) mukaan siementen hautautuminen yli 20 mm syvyyteen kuitenkin heikensi itämistulosta. Sopiva syvyys oli 5 mm.

5.3 Työn tuottavuus

Yli-Vakkurin (1956) mukaan käsin kylvön työajamenekki oli hajakylvössä lumettomalle maalle 1,5 miestyöpäivää/ha, hajakylvössä hangelle 1,0 miestyöpäivää ja ruutu- ja vakoruutukylvössä 4,0 miestyöpäivää/ha. Varhaisen LAMU-jyrtsin-, kylvö- ja lannoituskoneen tuottavuus avosuolle kylvössä oli vain 0,3 ha/h (Appelroth 1976). Koneen kömpelyyden takia vain puolet työajasta oli kylvöä. Sirénin (1954, 1957) lentokonekylvössä tuntituotos oli 100 ha. Lähteen ja Vartiaisen (1980) tutkimuksessa helikopteri kylvi 10 minuutissa 2–3 hehtaaria, lentomatkan ollessa 250 m.

Nykyisillä jatkuvatoimisilla kylvökone-muokausyhdistelmillä päästään Yli-Vakkurin (1956) käsinkylvön tuottavuuksiin. Tämän tutkimuksen äestyksen keskimääräinen käyttötuntituotos oli 1,53 ha. Saksan ym. (2002) tutkimuksessa hakkuutehteisellä alueella äestyksen tuottavuus oli 1,15 ha/tehotunti. Korhosen ja Kumpareen (1995b) mukaan TTS-Sigma-kylvölaitteen aiheuttamat keskeytykset (kylvölaitteen korjaus, huolto ja siemensäiliön täyttö) olivat 5 % koneen käyttöajasta.

Jigi-laikkurin tehotuntituotos kahden yksikön levyisenä oli 0,85 ha, mikä vastaa Metsähallituksen kehittämisyksikön Jigi-tuloksia 0,8–1,2 ha/käyttötunti (Ari ja Kumpare 1993). Holck-laikkurin kahdelle yksikölle laskettu tuottavuus (1,04 ha/tehotunti) oli selvästi suurempi kuin Metsähallituksessa kokeilun vastaavan yksirivisen Toimi-mätästäjän käyttötuntituotos (0,790–0,82 ha) (Korhonen ja Kumpare 1995a, Parpala 1995). Kaksirivisen Bracke-laikkurin tuottavuus, 1,32 ha/tehotunti, on hyvä verrattuna Arin ja Kumpareen (1992) mittaamaan kolmirivisen Bracke-laikkurin 1,9 ha:n käyttötuntituotokseen. Vastaavan kaksirivisen tuotos on lähes 30 % alhaisempi. Työteliään kaivinkonelaitutuksen tuotos oli 0,32 ha, joka myös vastaa hyvin Korhosen ja Kumpareen Patu M 100 -kaivukoneen laikutustuotosta 0,3 ha/tehotunti (1994b).

5.4 Kustannukset

Verrattaessa tilastojen mukaisia kylvökustannuksia (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008) keskimääräisen maanmuokkauksen sisältävän kylvön ja pelkän äestyksen kustannuseroksi jää yksityisillä ja valtiolla 28–50 €/ha. Metsäteollisuudella ero on peräti 188 €/ha. Eri metsänomistajien kustannukset maanmuokkauksessa ovat kuitenkin samaa luokkaa. On siis ilmeistä, että tilastoissa on yksityisten ja valtion kohdalla vain kylvötyön ja siementen kustannukset. Harstelan (2004) mukaan kylvötyön kustannus oli 30 €/ha, joka on pienellä inflaatiokorotuksella samaa suuruusluokkaa kuin yksityisten ja valtion maiden kylvökustannus vähennettynä edellä lasketulla siemenkustannuksella (35–41 €/ha). Hehtaarikohtaiseksi siemenkustannukseksi saadaan 150 €/ha, kun siemenen hinta on 500 €/kg. Siemen ja työkustannusten summa olisi siten $150 + 35 = 185$ €/ha.

Äestyskustannuksina voidaan pitää kolmen omistajaryhmän keskiarvona laskettua kustannusta 159 €/ha ja vastaavasti laikutuskustannuksena 255 €/ha (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2008). Kylvön kokonaiskustannuksiksi tilastotietojen perusteella saadaan siten äestyksellä 344 €/ha ja laikutuksella 440 €/ha. Omistajaryhmästä ja olosuhteista riippuen vaihtelua keskihinnossa on muutamia kymmeniä euroja. Tässä tutkimuksessa koneellisen kylvön kokonaiskustannukseksi tuli äestyksellä 287–312 €/ha, jatkuvatoimisella laikkumätästyksellä 269–280 €/ha, jyrinnällä 264 €/ha ja kaivurilaikutuksessa 342 €/ha. Kaikki ovat hieman halvempia kuin tilastoidut kustannukset.

Metsätilastollisen vuosikirjan (2009) mukaan istutuksen kokonaiskustannus oli yksityisten mailla 927 €/ha (mätästys 296 €/ha ja istutus 631 €/ha) ja metsäteollisuuden mailla 831 €/ha. Istutuksen kokonaiskustannukset ovat siten kolminkertaiset kylvöön verrattuna. Hämäläisen (1997) mukaan yhtiöiden mailla istutuksen kustannus oli kymmenisen vuotta sitten 2,6-kertainen kylvöön verrattuna.

Siemenkustannuksissa voidaan säästää hyödyntämällä uudistusalan reuna-alueiden siementävää puustoa. Esimerkiksi kymmenen metrin reunakais-tale voidaan muokata ilman kylvöä. Näin kahden hehtaarin uudistusalan koolla siemenkustannus pieneni lähes 30 %. Vastaavasti 20 metrin reunakais-tan leveydellä siemenkustannus pienenee puoleen.

5.5 Ajatuksia koneellistamisesta

Konekylvössä jatkuvaa muokkausjälkeä tekeville koneyhdistelmille kylvölaite on teknisesti helpompi toteuttaa kuin laikuttajille. Kylvökoneiden tulisi pystyä suuntaamaan siemenet tarkasti haluttuun kylvökohtaan, jotta siemenmenekki vähenisi ja taimettumistulos olisi tasainen (Nuutinen 1995). Pienkuoppien hyödyntäminen lisää konekylvölaiteiden tarkkuus- ja suuntausvaatimuksia.

Äestys näyttää edelleen olevan hyvin toimiva muokkausmenetelmä konekylvöön sopivilla mailla. Vaikka äesyhdistelmien kylvökoneet toimivat luotettavasti, voitaisiin annostelutarkkuutta edelleen kehittää. Molemmilla kokeissa olleilla kylvölaiteilla havaittiin merkittäviä eroja (20–30 %) siemenmäärissä kylvöputkien välillä. Äestyksen voimakkuutta voidaan helposti säätää, mutta äes soveltuu huonosti istutuksen muokkaukseen. Äkeen jatkuva muokkausjälki lisää eroosioriskiä ja ravinteiden huuhtoutumista sekä lehtipuuvesakon määrää.

Bracke-laikkurissa/laikkumätästäjässä on monipuoliset säätömahdollisuudet ja sillä voidaan tehdä myös istutusmättäitä jatkuvatoimisena. Itävyystuloksissa Bracke ei erottunut muista menetelmistä, mutta taimikko jäi sillä aukkoiseksi. Laikkureiden, laikkumätästäjien ja kaivinkoneiden erillisiä kylvölaiteita ei markkinoilla kokeiden aikaan juurikaan ollut saatavissa. Siksi kokeessa olleet laikkuun kylvävät koneet olivat käytännössä prototyyppisiä, joiden toimintavarmuus ja kylvötulokset eivät vakuuttaneet. Kustannuslaskelmissa käytetty SeedGun-kylvölaite (NewForest 2008) pystyy kylvämään katkonaiseen muokkausjälkeen tai mättäisiin.

Kokeen kevytrakenteinen ketjujyrin osoittautui huonoksi maanmuokkaajaksi kylvölle. Jyrityn alustan ongelmia erityisesti kylvössä voivat olla roudan vaikutukset, itänyt taimi ei pysy maassa (Bergsten 1988). Herranen ja Högnäs (1987) totesivat Metsähallituksen 20 vuoden kokemusten perusteella, että raskaiden jyrsimien työjälki oli yleensä hyvä, mutta jyrintäterien kovasta kulumisesta johtuvat vaikeudet estivät niiden yleistymisen.

5.6 Kylvön tehostaminen

Pidentämällä peruskoneiden vuotuista käyttöaikaa

muissa tehtävissä voidaan yksikkökohtaisia pääomakustannuksia laskea. Pääomakustannuksia voisi pienentää myös talvikylvöllä, jota on kokeiltu kai-vurilaikutuksessa SeedGun-kylvölaitteella. Talvella soiden ja pehmeikköjen takana oleville kylvöaloille pääsy voisi olla helpompaa.

Jatkuvatoimisilla muokauslaitteilla päästään parempiin tuntituotoksiin kuin yksittäisiä laikkuja ja mättäitä tekevillä muokkaimilla, ongelmaksi kuitenkin osoittautui edellisten taimikoiden epätasaisuus. Useampia yksiköitä voitaisiin käyttää rinnakkain. Pääomakustannukset nousevat hieman, mutta työmaa-aika vähenee. Pienillä kuvioilla leveät yhdistelmät ovat kömpelöitä. Muokauslaite voisi olla modulaarinen. Vaikeilla aloilla käytettäisiin kah-ta muokkausyksikköä ja helpommilla useampaa. Muokkainyksiköiden väli voisi olla säädettävissä.

Metsänviljelyn menetelmäkehitys on kohdistunut pääosin koneelliseen istutukseen ja sen maanmuokausmenetelmiin. SeedGun-kylvölaite (NewForest 2008) ja Bergstenin (1988) tulosten perusteella kehitetty Bracken (Bracke TTS 2008) pienkuoppayöriä lienevät viimeisimpiä merkittäviä kylvön kehityshankkeita. Pienkuoppien käytöllä on pyritty antamaan siemenelle hyvät itämis- ja kehittymisolot, jolloin siemenmäärää voitaisiin vähentää ja taimikon tasaisuutta parantaa. Se voisi johtaa myös vähentyneeseen perkaustarpeeseen ja siten alentaisi taimikonhoidon kustannuksia.

Koko uudistamisketjun laatua ja kustannustehokkuutta voidaan lisätä organisointia ja logistiikkaa kehittämällä.

Kirjallisuus

- Appelroth, S.-E. 1976. Työntutkimus LAMU-kylvökoneesta. Summary: Work study of the LAMU seeding machine. *Folia Forestalia* 253. 24 s.
- Ari, T. & Kumpare, T. 1992. Bracke -mätästävä laikkuri – kilpailukykyinen vaihtoehto maanmuokkaukseen. *Metsähallitus, kehittämissyksikkö, Tiedote* 5. 5 s.
- & Kumpare, T. 1993. Jigi-laikkuri – enemmän laikkuri kuin mätästäjä. *Metsähallitus, kehittämissyksikkö, Tiedote* 4. 4 s.
- Bergsten, U. 1988. Pyramidal indentations as a micro-site preparation for direct seeding of *Pinus sylvestris* L. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3(4): 493–503.
- Bracke TTS. 2008. [Verkkosivusto]. Saatavissa: <http://www.brackeforest.com/>. [Viitattu 25.11.2008].
- de Chantal, M., Eskola, L., Ilvesniemi, H., Leinonen, K. & Westman, C.J. 2003a. Early establishment of *Pinus Sylvestris* and *Picea Abies* sown on soil freshly prepared and after stabilisation. *Silva Fennica* 37(1): 15–30.
- , Leinonen, K., Ilvesniemi, H. & Westman, C.J. 2003b. Combined effects of site preparation, soil properties and sowing date on the establishment of *Pinus Sylvestris* and *Picea Abies* from seeds. *Canadian Journal of Forest Research* 33(5): 931–945.
- Fryk, J. 1989. Markbehandlingsteknik – slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd genomfört forskningsprojekt 1985–88. Skogsarbeten, Redogörelse 4. 35 s.
- Hagner, M., de Jong, A. & Persson, B. 1994. Sådd av tall (*Pinus sylvestris* L.) efter markberedning med harv – resultatet av en försöksserie anlagd 1980–1984. Institutionen för Skogsskötsel, Arbetsrapporter 89. 61 s.
- Hallikainen, V., Hyppönen, M., Jalkanen, R. & Mäkitalo, K. 2004. Metsänviljelyn onnistuminen Lapin yksityismetsissä vuosina 1984–1995. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 3–20.
- Harstela, P. 2004. Kustannustehokas metsänhoito. *Gravita Ky.* 126 s.
- Herranen, T. & Högnäs, T. 1987. Kehittämissjaoston maanmuokkauksoikeilut vuosina 1969–1987. *Metsähallitus, kehittämissjaosto, Tutkimusselostus* 152. 48 s.
- Huuri, O. 1969. Katsaus metsänviljelytekniikan kehitykseen. *Julkaisussa: Lehto, J. (toim.). Metsänviljely. KML Tapio, Helsinki.* s. 325–370.
- Hyppönen, M. & Kemppe, T. 2002. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen Etelä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 19–27.
- , Hyvönen, J., Mäkitalo, K., Riissanen, N. & Sepponen, P. 2001. Maanmuokkauksen vaikutus luontaisesti uudistetun männyntaimikon kehitykseen Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 5–18.
- , Heikkinen, H. & Hallikainen, V. 2008. Maanmuokkauksen ja kylvön vaikutus mäntysiemenpuualan taimettumiseen ja taimikon alkukehitykseen Etelä-Lapissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008: 269–279.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki.* 100 s.
- Hämäläinen, J. 1997. Metsänhoitotöiden suoritteet ja

- kustannukset vuonna 1996. Yhtiöt ja Metsähallitus. Metsätehon Katsaus 4. 4 s.
- Juntunen, M.-L. & Herrala-Ylinen, H. 2008. Metsänhoito- ja metsänparannustyöt 2007 – Metsänhoito- ja metsänparannustöihin käytettiin 266 miljoonaa euroa vuonna 2007. Metsäntutkimuslaitos, Metsätalastollinen tietopalvelu, Metsätalastotiedote 21. 28 s.
- Kankaanhuhta, V., Saksa, T. & Smolander, H. 2009. Variation in the result of Norway Spruce planting and Scots pine direct seeding in privately owned forests in southern Finland. *Silva Fennica* 43(1): 51–70.
- Kinnunen, K. 1982. Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa. Summary: Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland. *Folia Forestalia* 531. 24 s.
- 1992. Kylvöalustan, -ajankohdan ja -menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen. Summary: Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of Scots pine. *Folia Forestalia* 785. 45 s.
- 2002. Kylvö metsänuudistamismenetelmänä. Metsätieteen aikakauskirja 1: 47–49.
- 2003. Kylvön ja maanmuokkauksen kehittäminen. Etelä-Suomen metsien uudistaminen. Tutkimusohjelman loppuraportti, Jaana Luoranen (toim.). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 888: 47–52.
- & Linnimäki, J. 1978. Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa. Summary: Success of forest regeneration and initial development of sapling stand in northern Karelia. *Folia Forestalia* 329. 32 s.
- & Nerg, J. 1982. Männyn kylvö ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä. Summary: State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forests of western Finland. *Folia Forestalia* 535. 16 s.
- Korhonen, P. & Kumpare, T. 1994a. Koneellisesti kylvetyjen uudistusalojen taimettumistulokset hyviä. Metsähallituksen kehittämissyksikkö, Tiedote 2. 6 s.
- & Kumpare, T. 1994b. PATU M-100-metsäkaivukone maanmuokkauksessa. Metsähallitus, kehittämissyksikkö, Tiedote 4. 4 s.
- & Kumpare, T. 1995a. Toimi-laikkuri ohutkunttaisten maiden uudistamiseen. Metsähallitus, kehittämissyksikkö, Tiedote 7. 4 s.
- & Kumpare, T. 1995b. TTS-Sigma kylvölaite Brackemätäslaikkurin lisälaitteena – kylvölaitteen toimivuus ja alustavat taimettumistulokset hyviä. Metsähallitus, kehittämissyksikkö, Tiedote 5. 4 s.
- & Mänty, J. 1991. Koneellinen kylvö maanmuokkauksen yhteydessä – konekylvöjen inventointitulokset ja kylvölaiteiden esittely. Metsähallitus, Kehittämisaosto, Tiedote 3. 6 s.
- Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Referat: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiewernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise. *Acta Forestalia Fennica* 14(3). 95 s.
- Lähde, E. 1979. Männyn, kuusen ja lehtikuusen suoja- ja avokylvö aurauksen pientareessa ja palteessa. Summary: Shelter and open sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch on the shoulder and tilt of ploughing. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 97(4). 45 s.
- & Vartiainen, T. 1980. Männyn hajakylvökoe helikopterilla. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 22. 18 s.
- Metsäpuiden siementen käsittely ja analyysiohjeisto 1980. Moniste. Metsähallitus. 19 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja. Skogssstatistisk årsbok. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. 2008.
- Metsätalastollinen vuosikirja. Skogssstatistisk årsbok. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. 2009.
- Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 512–525.
- NewForest Oy. 2008. [Verkkosivusto]. Saatavissa: <http://www.newforest.fi/>. [Viitattu 25.11.2008].
- Nuutinen, I. 1995. Kylvön onnistuminen eri maanmuokkausmenetelmin. Tutkielma. Joensuun metsä- ja puutalousoppilaitos. 23 s.
- Oikarinen, M., Karhu, J. & Pasanen, J. 1995. Metsän uudistamiseen vaikuttavista tekijöistä Kainuun vaara-alueilla. Julkaisussa: Poikolainen, J. & Väärä, T. 1995 (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kuusamossa 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 552: 69–86.
- Parpala, J. 1995. Toimi-mätästääjä – edullinen vaihtoehto ohutkunttaisille maille. Metsähallitus kehittämissyksikkö, Tiedote 8: 1–5.
- Pitkänen, A., Järvinen, E., Turunen, J., Kolström, T. & Kouki, J. 2005. Kulotuksen ja maan muokkauksen vaikutus männyn siementen itämiseen ja kylvötaimien varhaiseen eloonjääntiin. Metsätieteen aikakauskirja 4: 387–397.
- Pohtila, E. 1980. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksen kehityksestä Lapissa. Summary:

- Spatial distribution development in young tree stands in Lapland. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 98(1). 35 s.
- & Pohjola, T. 1985. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa. Summary: Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. *Silva Fennica* 19(3): 245–270.
- & Valkonen, S. 1985. Varttuneiden viljelytaimikoiden tila lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä. Summary: Development and condition of artificially regenerated pine and spruce sapling stands in the privately owned forests in Finnish Lapland. *Folia Forestalia* 631. 19 s.
- Rummukainen, A. 2001. Koneellinen kylvö. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti, Hämeenlinna. s. 142–143.
- & Tervo, L. 1992. Kylvön mekanisointi. Siemenpäivät Siilinjärvellä. Julkaisussa: Smolander, H & Pulkkinen, M. (toim.). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426: 111–122.
- & Tervo, L. 1994. Metsänviljelyn koneellistaminen. Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen. Metsäntutkimuspäivä Järvenpäässä 16.11.1993. Julkaisussa: Hannelius, S. (toim.). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 491: 63–67.
- , Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Ilves- ja Bräcke-istutuskoneet – tuottavuus, työnjälki ja kustannukset. Abstract: Ilves and Bräcke forest planting machines – productivity, quality of work and cost. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja – The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 857. 75 s.
- , Kautto, K. & Tervo, L. 2003. Metsänistutukseen koneellisia vaihtoehtoja. *Teho* 1: 15–17.
- , Tervo, L. & Kautto, K. 2004. Mechanical direct seeding in Finland. Julkaisussa: Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceeding. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, August 30–31 2004. *Silva Carelica* 45: 20–25.
- Råback, S. 1996. Siementen kylmäkäsitteilyn ja kolokylvön vaikutus männyn, kuusen ja rauduskoivun siementen itämiseen ja sirkkataimipopulaation varhaiskehitykseen pienialaisessa aukossa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, metsäekologian laitos. 62 s.
- Räikkönen, T. 2005. Suullinen lausunto. *BrackeForest*. Saarenmaa, L. 1997. Metsänuudistaminen. Julkaisussa: Häyrinen, M. (toim.). Tapion Taskukirja. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio – Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 188–203.
- Saksa, T. 1986. Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa. Summary: The development of Scots Pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland. *Folia Forestalia* 644. 60 s.
- , Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähde ja metsänuudistaminen. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen -tutkimushankkeen loppuraportti. Suomenjoen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 851. 41 s.
- , Kankaanhuhta, V., Kalland, F. & Smolander, H. 2005. Uudistamistuloksen laatu Etelä-Suomen yksityismetsissä ja keskeisimmät kehittämisskohteet. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 67–73.
- Selander, J., Immonen, A. & Raukko, P. 1990. Luontaisen ja istutetun männyntaimikon kestävyys tukkimiehentäitä vastaa. *Folia Forestalia* 776. 19 s.
- Sirén, G. 1952. Havaintoja Peräpohjolan valtion mailla vuosina 1949–50 suoritetuista männyn kylvöistä. Summary: Observations on pine sowings on state-owned lands in Peräpohjola (Far North) in 1948–1950. *Silva Fennica* 78.
- 1954. Lentokone metsän uudistamistyössä. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 1: 17–20.
- 1957. Lentokonekylvön tulokset. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 10: 305–309.
- SPSS 15.0 for Windows, Release 15.0.1. 2006. [Verkkosivusto]. Saatavissa: <http://www.spss.com/statistics/>. [Viitattu 25.11.2008].
- Strandström, M. 2008. Metsänhoito vuonna 2007. *Metsätehon katsaus* 35. 4 s.
- Tapion siemenkeskus. 2010. Hinnasto. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.tapio.fi/files/tapio/PDF-tiedostot/Microsoft_Word_-_SIEMENTEN_HINNASTO__10.pdf. [Viitattu 2.2.2010].
- Thureson, T., Samuelsson, H. & Claesson, S. 2003. Konsekvenser av ett förbud mot permetrinbehandling av skogsplantor. *Skogstyrelsen, Meddelande* 2. 65 s.
- Viitala, E.-J. 1991. Metsä-Serlan männyn viljelytaimikoiden tila Keski-Suomessa. *Metsänhoitotieteen pro gradu -työ*. Helsingin yliopisto. 104 s.
- Wennerström, U., Bergsten, U. & Nilsson, J.-E. 2007. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin,

- and seeding year. *Silva Fennica* 41(2): 299–314.
- Wibeck, E. 1917. Om eftergroning hos tallfrö. *Sveriges Skogsvårds förbundets tidskrift* 15: 141–174.
- 1927. Vår- eller höstsådd. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt*, Häfte 23(4): 217–294.
- Winsa, H. 1995. Influence of rain shelter and site preparation on seedling emergence of *Pinus sylvestris* L. after direct seeding. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 167–175.
- & Bergsten, U. 1994. Direct seeding of *Pinus sylvestris* using microsite preparation and invigorated seed lots of different quality: 2-year results. *Canadian Journal of Forest Research* 1: 77–86.
- & Sahlén, K. 2001. Effects of seed invigoration and microsite preparation on seedlings emergence and establishment after direct sowing of *Pinus sylvestris* L. at different dates. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 422–428.
- Väisänen, P. 2002. Metsä uudistuu meillä hyvin. *Metsä, UPM Metsän tiedotuslehti* 4. 31 s.
- Yli-Vakkuri, P. 1956. *Metsänviljely*. Metsäkäsikirja 1. Kustannusosakeyhtiö Kivi, Helsinki. s. 565–579.
- 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Summary: Experimental studies on the emergence and initial development of tree seedlings in spruce and pine stands. *Acta Forestalia Fennica* 75(1). 122 s.
- & Räsänen, P.K. 1971. Siementen peittämisen ja kylvökohdan polkaisun vaikutus männyn ruutukylvön tulokseen. Summary: The influence of covering and tramping the seeds into the soil on the success of spot sowing of pine. *Silva Fennica* 5(1): 1–10.
- Äijälä, O. 2005. Uudistusalojen energiapuun korjuun jäljillä. *BioEnergia* 1: 4–6.

78 viitettä