



■ Timo Saksa

Timo Saksa

Kuusen istutustaimien menestymisen ja tukkimiehentäin tuhot eri tavoin muokatuilla uudistusaloilla

Saksa, T. 2011. Kuusen istutustaimien menestyminen ja tukkimiehentäin tuhot eri tavoin muokatuilla uudistusaloilla. Metsätieteen aikakauskirja 2/2011: 91–105.

Tutkimuksessa tarkasteltiin pysyvien koealojen avulla kuusen paakkutaimien elossaoloa, tuhoja sekä pituuskehitystä 24:llä mätästäen, laikuttaen tai äestäen muokatulla käytännön uudistusaloilla. Mätästetyillä ja laikutetuilla uudistusaloilla kuusen taimien elossaolo oli neljännen kasvukauden jälkeen merkittävästi korkeampi, yli 90 %, verrattuna äestysaloihin, joilla elossaolo laski 80 % tasolle. Kasvukausittain tehtyjen havaintojen perusteella suurimmaksi istutustaimien tuhonaiheuttajaksi ensimmäisten vuosien aikana osoittautui tukkimiehentäin, joka aiheutti keskimäärin joka toisen taimikuoleman. Kaikkiaan tukkimiehentäin todettiin vikuuttaneen 55 %:a äestys-, 40 %:a laikutus- ja 20 %:a mätästysaloille istutetuista taimista.

Aineistoon sovitettuna sekamallin mukaan muokkausjäljen kivennäismaapinnalle, maanpinnan tasoon tai ylemmäksi, syvään istutetut taimet säilyivät parhaiten elossa. Istutuspisteen etäisyys humuksesta sekä taimen pituus istutettaessa vaikuttivat myös positiivisesti taimen menestymiseen. Äestysaloilla istutustaimien kuolleisuus oli laikutus- ja mätästysaloja suurempaa. Parhaiten tukkimiehentäin tuhoilta säästyivät keskimääräistä maanpintaa korkeammalle kivennäismaapinnalle istutetut taimet. Mätästysaloilla tukkimiehentäin tuhoriski oli merkittävästi pienempi kuin äestys- ja laikutusaloilla.

1- ja 2-vuotiaan taimimateriaalin välillä ei ollut eroa menestymisessä, mutta taimen pituudella oli positiivinen vaikutus niin elossaoloon kuin pituuskehitykseenkin. Neljännen kasvukauden lopussa istutustaimien pituutta selittivät taimen pituus istutushetkellä (+), pinnallinen istutus (–), istutus humuspintaan (–), keskimääräistä maanpinnan tasoa ylemmäksi (+) tai alemmaksi (–) istuttaminen, taimen etäisyys humuksesta (–), tukkimiehentäin syönti (–) sekä taimen lähiympäristön pintakasvillisuuden (–) ja lehtipuiden määrä (–). Uudistusalan muokkausmenetelmä ei selittänyt istutustaimen pituuskehitystä. Käytännön uudistusaloilla muokkausta edelleen kehitettäessä tulisi kiinnittää erityistä huomiota muokkausjäljen laatuun, jotta uudistusaloilla olisi riittävästi viljelykel-poisia ja tasalaatuisia kohoumia kuusen istutusta varten.

Asiasanat: kuusi, paakkutaimi, muokkausjälki, tukkimiehentäin, sekamalli

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimipaikka, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki.

Sähköposti timo.saksa@metla.fi

Hyväksytty: 9.3.2011

Saatavissa: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff11/ff112091.pdf>

I Johdanto

Kuusen taimien kasvatuksessa alettiin 1980-luvun alkupuolella siirtyä vähitellen paljasjuuritaimista paakkutaimiin, mikä mahdollisti kuusen taimien tuotannon kasvun ja kuusen viljelyn laajenemisen nykyiselle tasolle. Vuosituhannen vaihteessa paljasjuuritaimia oli vajaat 15 % kuusen taimista kun se vuonna 2008 oli pudonnut jo hyvin marginaaliseksi, 0,5 %:iin (Metsänviljelyyn... 2008). Paakkutaimien ansiosta manuaalisessa istutustyössä voitiin siirtyä pottiputkella istuttamiseen, mikä lisäsi istutustyön tuottavuutta oleellisesti.

Nykyään kuusen paakkutaimet kasvatetaan taimitarhalla pääosin yhden tai kahden kasvukauden aikana. Esimerkiksi vuonna 2008 istutetuista 110 miljoonasta kuusen taimesta yhden kasvukauden aikana kasvatettuja taimia oli 55 % (1-vuotiaat ja 1½-vuotiaat taimet) ja 44 % oli 2-vuotiaita ja 1 % sitä vanhempia (Metsänviljelyyn... 2008).

Siirryttäessä perinteistä paljasjuuritainta iältään nuorempien ja kooltaan pienempien paakkutaimien käyttöön, on maanmuokkauksen merkitys istutustaimien alkukehityksessä uudistusalalla korostunut. Kuusen istutusaloilla maanmuokkauksessa on enenevässä määrin siirrytty äestyksestä kaivinkonepohjaisiin muokkausmenetelmiin. Ensin 1990-luvulla kasvoi kaivurilaikutuksen osuus maanmuokkauksessa ja vuosituhannen vaihteen jälkeen mätästys on noussut kuusen uudistamisessa yleisimmin käytetyksi yksittäiseksi muokkaustyölajiksi. Vuonna 2008 koko maan muokausalasta mätästettiin jo 48 %, ja joillakin metsäkeskusalueilla lähes kaikki kuusen istutusalat mätästettiin (Metinfo 2009).

Kasvupaikan, maalajin ja maanmuokkausjäljen vaikutuksesta istutustulokseen on runsaasti tutkimustuloksia pohjoismaista. Jo 1970-luvulla aurauksen havaittiin edistävän istutustulosta erityisesti Pohjois-Suomen olosuhteissa (Pohtila 1977). Aurauksessa muodostuva kohouma paransi istutuspisteen lämpöoloja (Leikola 1974, Kubin ja Kemppainen 1994) ja erityisesti hienojakoisilla mailla istutusalustan fysiikaalisia ominaisuuksia (Lähde 1978) ja muutokset näyttivät säilyvän vähintään pari vuosikymmentä edesauttaen uuden puuston kehittymistä (Heiskanen ym. 2007).

Etelä-Suomessakin metsämaan aurauksen avulla saavutettiin aiempaa parempia viljelytuloksia (Raulo

ja Rikala 1981, Valtanen 1983, Valtanen ja Engberg 1987, Kinnunen 1989). Ympäristösyistä aurauksista luovuttiin vähitellen 1990-luvulla ja siirryttiin yhä useammin käyttämään mätästystä. Mätäs periaatteessa vastaa pitkälti metsäauralla (palleaura) tehtyä muokkausjälkeä. Molemmista tehdään kivennäismaapintainen kohouma, jonka sisälle jää vaihteleva määrä maatuvaa humusta (Luoranen ym. 2007). Kaivurilla tehdyssä pistemäisessä muokkauksessa paljastetaan kivennäismaata 2–3 kertaa pienempi pinta-ala kuin yhtenäisen muokkausjäljen tuottavassa aurauksessa, mikä on niin ympäristösyistä kuin metsänhoidonkin kannalta edullista.

Viime vuosina maanmuokkaustutkimusta on tehty erityisesti Ruotsissa. Useissa järjestetyissä kenttäkokeissa kuusen istutustaimen on todettu menestyvän erilaisilla kohoumilla (kääntö-, laikku- ja ojamättäissä) paremmin kuin muokkausjäljissä, joissa paljastetaan kivennäismaata tekemättä kohoumaa (Örlander ym. 1998, Nilsson ja Örlander 1999, Hallsby ja Örlander 2004). Samoin kotimaiset käytännön uudistusalojen inventoinnit ovat tukeneet samaa johtopäätöstä (Saksa ym. 1990, Saksa ja Kankaanhuhta 2007).

Ensimmäisenä kasvukautena taimien sopeutumiin istutuspaikalle vaikuttavat oleellisesti muokkausjäljen ominaisuuksien lisäksi viljelymateriaalin, taimihuollon sekä istutustyön laatu (Rikala 2002). Istutuksen jälkeen taimia uhkaavat monet sienitaudit ja hyönteisten aiheuttamat tuhot sekä maaperästä, säästä yms. johtuvat abioottiset tuhot (Luoranen ja Kiljunen 2006). Tukkimiehentäin (*Hylobius abietis* L.) on todettu useissa tutkimuksissa olleen suurin yksittäinen tuhonaiheuttaja (Örlander ja Nilsson 1999, Heiskanen ja Viiri 2005).

Tukkimiehentäi käyttää ravinnokseen nuoren taimien kuorta ja nilaa paljastaen puuaineen mikä heikentäen veden ja ravinteiden virtauksia. Kun syönti ulottuu taimen tyvellä rungon ympäri, johtaa se usein taimen kuolemaan. Hakkuun jälkeen ensimmäisen kasvukauden aikana tuhoja aiheuttavat tuoreiden kantojen paikalle houkuttelemat tukkimiehentäit. Nämä munivat tuoreisiin havupuiden kantoihin, talvehtivat maassa, ja aiheuttavat tuhoja vielä toisena ja kolmantenakin vuonna. Lisäksi uusi kannoissa kehittyvä sukupolvi lisää tuhoriskiä toisen kasvukauden loppupuolelta alkaen ja etenkin kolmantena ja vielä neljäntenäkin kasvukautena hakkuun jälkeen

(Uotila ja Kankaanhuhta 1999).

Tukkimiehintäiongelmia on tutkittu erityisen paljon Ruotsissa viime vuosikymmeninä ja sen tuhojen torjuntaan käytännön metsänuudistamisessa on pyritty monin keinoin (Nordlander ym. s.a.).

Perinteisesti tukkimiehintäin tuhoja on torjuttu kasvinsuojeluvalmistein (Viiri 2009), mutta kemiallista käsittelyä korvaavien, erilaisten mekaanisten suojien ja esteiden käyttö (Petersson ym. 2005, Nordlander ym. 2009) on myös yleistymässä. Metsänhoidollisin toimin kuten viivästyttämällä uudistamistoimenpiteitä 2–4 vuotta, käyttämällä suojuspuustoa sekä maanmuokkauksella voidaan myös vähentää tukkimiehintäin tuhoja (von Sydow 1997, Nordlander ym. 2003, Petersson ja Örlander 2003).

Istutustaimien kuolleisuuden aiheuttajien selvittäminen vaatii hyvin intensiivistä tutkimusotetta. Monissa järjestetyissä, tarkoin seuratuissakin kokeissa, kuolleisuudenaiheuttajien määrittäminen on osoittautunut vaikeaksi (Hytönen 1995, Saksa 1998). Usein kuolleisuus on useamman tekijän summa, jolloin yksittäisen, tärkeimmän tuhoaiheuttajan määrittäminen voi olla sattumanvaraista.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kuusen istutustaimien menestymistä mätästäen, laikuttaen tai äestäen muokatuilla uudistusaloilla. Erityisesti tarkastellaan muokkausjäljen pienmuotojen vaikutusta taimien menestymiseen, tukkimiehintäin aiheuttamiin tuhoihin sekä pituuskehitykseen. Samalla pyritään intensiivisen seurannan avulla kartoittamaan istutustaimien kuolleisuutta ensimmäisten vuosien aikana aiheuttavat tärkeimmät tekijät.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Maastokohteet ja mittaukset

Kuusen istutustaimien alkukehityksen kartoittamiseksi arvottiin metsänhoitoyhdistys Sisä-Savon alueelta 12 vuonna 2000 ja 12 vuonna 2001, 1- tai 2-vuotiaalla taimimateriaalilla viljeltyä uudistusalaa seuranta-tutkimukseen. Vuoden 2000 aineistoon sisältyi 6 äestäen, 2 laikuttaen ja 4 pääosin ojitusmätästäen muokattua alaa. Vuoden 2001 vastaavat luvut olivat 5, 3 ja 4. Molempina vuosina 1- ja

2-vuotiailla paakkutaimilla viljeltyjä kohteita oli yhtä monta. Pääosin taimet oli kasvatettu kahdesta eri siemenerästä (T3-95-0039 / SV 111 ja T3-98-0149 / SV177) Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla. Kolmella kohteella oli käytetty Ruotsissa kasvatettuja taimia. 1-vuotiaat taimet oli pääosin kasvatettu PL81F-kennoissa (paakun tilavuus 85 cm³, tiheys 546 kpl/m², valmistaja Lännen tehtaot) ja 2-vuotiaat PS608-kennoissa (152 cm³, 433 kpl/m², Lännen tehtaot). Taimet oli käsitelty taimentuottajan toimesta kemiallisella torjunta-aineella (GORI 920® (permethrin) (v. 2000) tai Decis Tab® (deltamethrin) (v. 2001)) tukkimiehintäin tuhoja vastaan. Molempina keväinä uudistusalat oli istutettu toukokuun aikana.

Kultakin uudistusalalta otettiin kymmenen koealan systemaattinen, tasavälinen otos. Linja/koealaväli vaihteli kuvion koon mukaan 25:stä 60:een metriin. Jokaisen koealan edustamalta alalta määritettiin kasvupaikkaluokka suomalaisen metsätyypijärjestelmän mukaan (Cajander 1926, 1949). Koealalta määritettiin maalaji maan pintakerroksesta (5–10 cm). Maalaji määrittäminen maastossa aistinvaraisesti jakaen kangasmaat karkeisiin (soramoreeni; lajittunut sora ja hiekka), keskikarkeisiin (hiekkamoreeni ja hietamoreeni; karkea hieta) ja hienoihin (hiesu-moreeni ja savimoreeni; hieno hieta, hiesu ja savi) (Mälkönen 2001). Kun turvekerroksen paksuus ylitti 20 cm, luokitettiin koealan maalaji turpeeksi.

Istutustaimet kartoitettiin koealan keskipisteestä mitatun etäisyyden ja suunnan avulla ensimmäisen kasvukauden aikana kesä-heinäkuussa ja tuolloin mitattiin taimien pituus ilman ko. kasvukauden kasvua (istutus-pituus). Tällöin määritettiin taimen istutuspaikan korkeus lähiympäristön (säde noin metri) maanpintaan nähden (alempana (–5 cm), tasalla, ylempänä (+5 cm)), istutuskohdan maanpinnan laatu (kivennäismaa, kivennäismaan ja humuksen sekoitus, humus) sekä oliko taimi muokkausjäljessä vai muokkaamattomassa kohdassa. Istutustaimista mitattiin lyhin etäisyys yhtenäisen humuspeitteen (orgaanisen aineksen) reunaan (cm) ja arvioitiin istutussyvyys luokissa pintaan istutettu (paakku osin näkyvissä), normaali istutus ja syväistutus (alimmat oksat maan sisässä). Lisäksi arvioitiin istutuspaikkaa koealalla olleisiin valintamahdollisuuksiin nähden (paras mahdollinen, tyydyttävä valinta, huono istutuspaikka).

Istutustaimia kohdanneet tuhot (sienitaudit, hyönteistuhot, nisäkästuhot, maaperä/sää, pintakasvillisuus, muut tunnistettavat ja tunnistamattomat tuhot) tarkastettiin syksyisin (syyskuu) neljän ensimmäisen kasvukauden aikana. Lisäksi arvioitiin istutustaimen kasvatuskelpoisuus (kyllä/ei) taimen sen hetkisen kunnon ja arvioidun kehityksen perusteella. Kasvatuskelpoiseksi luokitellun taimen arvioitiin kehittyvän ainespuuksi. Kaikkiaan seurannassa oli 4744 istutustainta ja niiden määrä vaihteli taimikoittain 135 taimesta 247 taimeen.

Seurannassa olleista taimista määritettiin tukkimiehentäin kuluneen kasvukauden syöntijäljet taimikohtaisesti neljänä ensimmäisenä syksynä. Tukkimiehentäin syöntijälkien lisäksi kolmella uudistusosalalla todettiin varmuudella myös juurinilureiden (*Hylastes cunicularis* Er.) tuhoja, mutta havainnot yhdistettiin aineiston käsittelyssä tukkimiehentäin aiheuttamiin tuhoihin. Syöntiaste luokitettiin neljään luokkaan: korkeintaan 25 %, 26–50 %, 51–75 % ja yli 75 % rungon kuoriyhteydestä syöty (Heiskanen ja Viiri 2005). Tukkimiehentäkannan suuruutta kartoitettiin kultakin koealalta kesällä 2001 pyyntikapuloiden (pituus noin 30 cm, paksuus noin 10 cm) avulla, jotka laitettiin puolittain humuksen peittoon kesäkuun alkuun mennessä. Tuoreen, kuorellisen mäntypuisen kapulan huokuttelemien tukkimiehitäiden määrä laskettiin kesäkuun lopussa. Vastavanlaista pyyntimenetelmää ovat aiemmin käyttäneet Långström (1982) ja Wilson ym. (1996).

Syksyisin mitattiin istutustaimen pituus senttimetrin tarkkuudella. Neljäntenä syksynä arvioitiin istutustaimen lähiympäristöstä (säde yksi metri) häiritsevän pintakasvillisuuden peittävyys, pääasiällisin pintakasvillisuuden laji (varvut, metsälauha, kastikat, horsma, vadelma tai muu) sekä lehtipuuston määrä ja valtapituus. Häiritseväksi pintakasvillisuudeksi luokitettiin istutustaimen pituinen ja sitä korkeampi pintakasvillisuus.

2.2 Aineiston käsittely

Tutkimus perustuu eri tavoin muokatuilta käytännön uudistusaloilta koostettuun seuranta inventointiaineistoon, jolloin muokkausmenetelmän valintaan on voinut vaikuttaa kunkin uudistusalan ominaisuudet. Em. mahdollisen vaihtelun ja aineiston hierarkisuus-

den vuoksi aineiston käsittelyssä päädyttiin sekamallien käyttöön.

Istutustiheyttä, taimien kuolleisuutta sekä viljelypisteiden laatua analysoitiin maanmuokkausmenetelmän ja taimimateriaalin suhteen varianssianalyysillä. Istutustaimien elossaoloa (0=kuollut, 1=elossa) ja alttiutta tukkimiehentäin syönnille (0=ei syöty, 1=syöty) analysoitiin binäärivasteisella logistisella sekamallilla. Olkoon Y_{ijk} taimikohtainen (0,1)-vastemuuttuja (alaindeksit viittaavat uudistusalaan k , koealaan j ja taimeen i) ja π_{ijk} todennäköisyys sille, että taimi on elossa (tai vastaavasti syöty). Todennäköisyydelle π_{ijk} sovitettu logistinen sekamalli oli muotoa:

$$\ln(\pi_{ijk}/(1-\pi_{ijk})) = f(X_{ijk}, \beta) + u_k + v_{jk} \quad (1)$$

Lineaarinen funktio $f(\cdot)$ on mallin kiinteä osa, jossa X_{ijk} kuvaa kiinteitä taimi-, koeala- ja uudistusala-kohtaisia selittäjiä ja β vastaavia estimoitavia parametreja. Aineiston hierarkkisuudesta aiheutuva havaintojen korreloituneisuus huomioitiin mallissa normaalisti jakautuneilla satunnaisvaikutuksilla u_k ja v_{jk} (Searle ym. 1992), joista ensimmäinen kuvaa yksittäisen uudistusalan ja jälkimmäinen yksittäisen koealan satunnaisvaikutusta. Koska kyseessä oli selitysmalli, itse satunnaisvaikutuksia ei estimoitu vaan ainoastaan niiden vaihtelua kuvaavat tunnusluvut: uudistusalavarianssi σ_u^2 ja koealavarianssi σ_v^2 .

Istutustaimien pituuskehitystä analysoitiin sovitamalla aineistoon lineaarinen sekamalli:

$$\sqrt{h_{ijk}} = f(X_{ijk}, \beta) + u_k + v_{jk} + e_{ijk} \quad (2)$$

missä h_{ijk} on kasvatuskelpoisen istutustaimen pituus neljäntenä kasvukautena (cm) ja e_{ijk} on normaalisti jakautunut mallin jäännösvirhe (yksittäisen taimen satunnaisvaikutus). Neliöjuurimuunnosta käytettiin, jotta satunnaistekijät olisivat normaalisti jakautuneita ja niiden varianssit olisivat vakioita. Mallin residuaaleja tarkasteltiin graafisesti.

Mallien laskennassa käytettiin MLwiN-ohjelmistoa (Rasbash ym. 2004). Malleihin otettiin mukaan sellaiset loogiset selittäjät, joiden p-arvo $< 0,05$ (χ^2 -testi). Luokkamuuttujien referenssitasoksi valittiin yleisin luokka ja tasojen välisiä eroja testattiin χ^2 -testillä. Malleissa (1) ja (2) kokeiltiin seuraavia kiinteitä selittäviä muuttujia uudistusalatasolta:

muokkausmenetelmä, istutusvuosi ja taimimateriaalin ikä, koealatasolta: maalaji ja pyydystettyjen tukkimiehintäiden lukumäärä sekä taimitasolta: istutuspituus, istutusalustan laatu, istutus muokkausjälkeen/muokkaamattomaan, istutuspaikan valinta, istutuspaikan taso, istutussyvyys, taimen etäisyys humuksesta, tukkimiehintäin syönti, lähiympäristön pintakasvillisuuden peittävyys sekä lehtipuiden määrä ja valtapituus.

2.3 Tutkimuskohteiden yleispiirteet

Kasvupaikaltaan uudistusalat olivat pääosin tuoretta kangasta, mutta kolme uudistusalaa luokiteltiin valitsevan kasvupaikkaluokan mukaan lehtomaiseksi kankaaksi (yksi äestys- ja kaksi mätästysalaa). Laikutusalat alat olivat viljavuudeltaan karumpia kuin äestys- tai mätästysalat. Yksi mätästysala oli vallitsevalta maalajiltaan hienoa, kaikki muut kangasmaiden uudistusalat keskikarkeita. Yksi mätästysala luokiteltiin kokonaan turvekankaaksi ja yhdellä mätästysalalla osa kuviota oli turvekerroksen peittämä.

Muokkaamattomaan maahan istutettujen taimien osuus oli äestysaloilla 12 % ja laikutusaloilla 9 %, mutta mätästysaloilla 5 % taimista (taulukko 1). Joka kolmannella uudistusalalla muokkaamattomaan maahan istutettujen taimien osuus oli yli 10 % ja kahdella äestysalalla vähintään joka neljäs taimi oli istutettu muokkaamattomalle maalle.

Mätästysaloilla 55 % taimista oli istutettu keskimääräistä maanpintaa ylempänä oleville kohoumille. Keskimääräistä maanpintaa yleemmäksi istutettujen taimien määrä jäi laikutus- (16 %) ja äestysaloilla (3 %) merkittävästi mätästysaloja pienemmäksi. Yhdellä laikutusalalla oli osin mätästykseen piirteitä, jolloin 40 % taimista oli kohoumilla. Pääosa, 60–70 %, äestys- ja laikutusalojen taimista oli istutettu maanpinnan tasoon. Lähiympäristön maanpintaa alempana olevia istutuskohdita oli äestysaloilla 26 % ja laikutusaloilla 22 %, kun mätästysaloilla vastaava osuus jäi 12 %:iin. Uudistusalojen välillä oli istutustaimien korkeusasemassa suurta vaihtelua samankin muokkausmenetelmän sisällä.

Istutuskohdan maapinnan laatuun muokkausmenetelmällä ei ollut vaikutusta; istutustaimista 50–60 % oli kivennäismaapinnalla, 20–30 % kivennäismaan

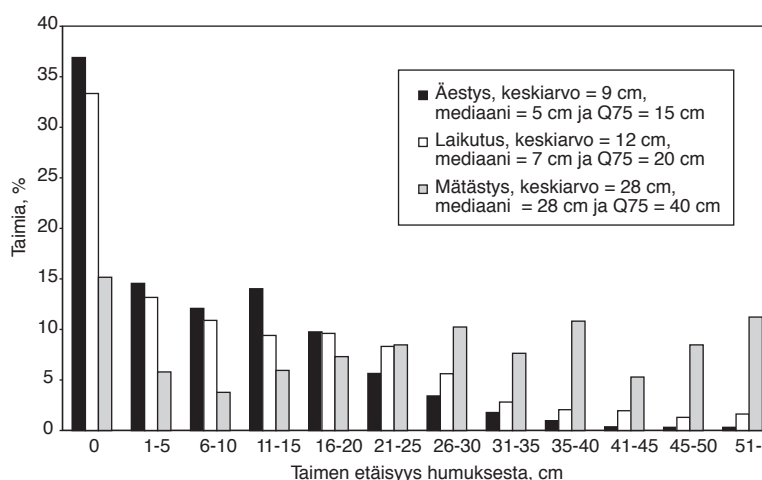
Taulukko 1. Istutuspaikan laatu, istutustaimien etäisyys humuksesta sekä istutustaimien keskipituus istutettaessa (keskiarvo $\pm$ uudistusalojen välinen keskihajonta) äestys- ($n = 11$), laikutus- ($n = 5$) ja mätästysjäljessä ($n = 8$). Minimi ja maksimi- (min-max) arvot uudistusaloittaisia pienimpiä ja suurimpia havaintoarvoja.

Istutuspaikan laatu	Äestys	Laikutus	Mätästys
	Osuus istutetuista taimista, %		
Muokattu	88 $\pm$ 8	91 $\pm$ 4	95 $\pm$ 5
Muokkaamaton (min-max)	1–27	4–15	1–15
Maanpintaa ylempänä	3 $\pm$ 3	16 $\pm$ 14	55 $\pm$ 17
Maanpinnan tasolla	71 $\pm$ 12	62 $\pm$ 11	33 $\pm$ 10
Maanpintaa alempana (min-max)	5–45	4–35	2–38
Istutusalustana kivennäismaa ^{a)}	57 $\pm$ 19	49 $\pm$ 19	57 $\pm$ 22
Sekoitus ^{a)}	19 $\pm$ 6	30 $\pm$ 13	26 $\pm$ 12
Humus (min-max) ^{a)}	4–49	16–30	3–42
Normaali istutussyvyys	74 $\pm$ 16	91 $\pm$ 6	85 $\pm$ 11
Syvään istutettu	4 $\pm$ 7	1 $\pm$ 2	10 $\pm$ 13
Pintaan istutettu (min-max)	0–52	1–18	0–11
Hyvä istutuspaikka	66 $\pm$ 10	68 $\pm$ 10	78 $\pm$ 18
Tyydyttävä istutuspaikka	31 $\pm$ 8	28 $\pm$ 4	18 $\pm$ 15
Huono istutuspaikka (min-max)	0–7	0–15	0–10
Etäisyys humuksesta, cm ^{a)}	9,1 $\pm$ 2,6	12,0 $\pm$ 1,9	26,1 $\pm$ 6,9
Etäisyys humuksesta (mediaani) ^{a)}	8,3	12,0	28,4
Etäisyys humuksesta (min-max) ^{a)}	5,4–13,4	9,5–14,6	16,3–32,6
Istutuspituus, 1-vuotiaat, cm ($n = 12$)	16 $\pm$ 1	15 $\pm$ 1	15 $\pm$ 1
Istutuspituus, 2-vuotiaat, cm ($n = 12$)	28 $\pm$ 3	29 $\pm$ 3	28 $\pm$ 4

^{a)} Ei sisällä turvemaan mätästysalaa ($n_{\text{mätästys}} = 7$).

ja humuksen sekoituksella ja noin 20 % humuksella. Äestyksillä oli muita muokkauksia enemmän, yli 20 % taimista, liian pintaan istutettuja (paakku osittain näkyvissä). Mätästysaloilla joka kymmenes taimi oli syväistutettu, jolloin paakun päällä oli yli 4 cm maata. Istutusmateriaalin pituudessa (maanpäällisen version osan pituus) ei ollut eroja eri muokkaustapojen välillä. Kaikilla muokkauksilla 96–97 % istutuspaikoista tulkittiin hyviksi tai tyydyttäväiksi. Mätästysaloilla hyvien istutuspaikkojen osuus oli 10 %-yksikköä muita suurempi, mutta myös hajonta muokkausjäljen laadussa oli muita muokkauksia suurempi.

Mätästysaloilla istutustaimet sijaitsivat merkittävästi kauempana humuksen reunasta (etäisyyden



Kuva 1. Istutuspisteen etäisyys humuspeitteen reunasta (viiden senttimetrin luokin) äestys- ($n=2310$), laikutus- ($n=927$) ja mätästysaloilla ($n=1194$). Tarkastelussa ovat mukana ne koealat, joiden maalaji oli määritetty kivennäismaaksi ($n=226$).

keskiarvo 26 cm) kuin laikutus- (9 cm) tai äestysaloilla (12 cm) (kuva 1 ja taulukko 1). Äestys- ja laikutusaloilla yli 30 % taimista oli istutettu humuspeitteeseen kohtaan tai aivan humuksen reunaan. Mätästysaloilla tällaisia taimia oli 15 %. Uudistusaloittaiset istutustaimien etäisyyksien keskiarvot (humuksen reunasta) jäivät laikutus- ja äestysaloilla 5–15 cm:n tasolle, kun mätästyksissä keskiarvo vaihteli 16–33 cm:iin.

3 Tulokset

3.1 Istutustaimien kuolleisuus

Uudistusaloille oli istutettu keskimäärin 1976 ± 332 tainta hehtaarille (uudistusalojen keskitiheydet vaihtelivat 1240:stä 2510 taimeen hehtaarilla). Lähes joka kolmas taimikko oli istutustiheydeltään joko alle 1800 tai yli 2200 tainta hehtaarilla. Äestys-, laikutus- ja mätästysalojen 1-vuotiaalla taimimateriaalilla perustettujen taimikoiden istutustiheydet eivät eronneet toisistaan, mutta 2-vuotiaalla taimilla istutetuissa taimikoissa äestysalojen istutustiheyksien keskiarvo oli lähes 500 tainta korkeampi kuin laikutus- tai mätästysaloilla (taulukko 2).

Ensimmäisen kolmen kasvukauden aikana istutustaimista kuoli vuosittain äestysaloilla 4–6 %, kun laikutus- ja mätästysaloilla kuolleisuus oli 2 %:n tasolla. Neljäntenä vuonna kuolleisuus laski äestysaloilla 3 %:n ja laikutus ja mätästysaloilla 1–2 %:n tasolle. Yksittäisellä uudistusaloilla vuotuinen kuolleisuus oli suurimmillaan yli 20 % ja yhdellä uudistusaloilla kaikki istutustaimet olivat elossa vielä neljäntenä kasvukautena istutuksen jälkeen.

Kuolleisuus neljän ensimmäisen kasvukauden aikana oli äestysaloilla merkitsevästi korkeampi (19 %) kuin laikutus- tai mätästysaloilla, joilla jäätettiin keskimäärin 7 % kuolleisuuteen (taulukko 2). Laikutus- ja mätästysaloilla kokonaiskuolleisuus vaihteli 0–14 % (0–260 taimeen hehtaarilla) kun äestysaloilla vastaava vaihteluväli oli 6 %:sta aina 35 %:iin (120–770 taimeen hehtaarilla).

Neljännen kasvukauden päätyttyä kahdessa taimikossa kolmesta oli alle 1800 istutustainta hehtaarilla ja vain yhdessä taimikossa (4 %) oli edelleen yli 2200 istutustainta hehtaarilla. Neljännen kasvukauden päätyttyä elossa olleista istutustaimista 95 % luokiteltiin kuntonsa puolesta kasvatuskelpoiseksi.

Istutustaimien elossaoloa kuvaavaan logistisen sekamallin (malli 1) mukaan (taulukko 3) humuksen ja kivennäismaan sekoitukselle tai humuspinnalle istutettujen taimien menestyminen oli heikompaa

Taulukko 2. Istutustaimien tiheys (taimia ha⁻¹) istutusvaiheessa ja neljännen kasvu-
kauden päättyessä sekä istutustaimien kuolleisuus (%) neljän ensimmäisen vuoden
aikana (keskiarvo ± taimikoiden välinen hajonta) äestys-, laikutus- ja mätästysjäljessä
($n_{\text{äestys}} = 6/5$, $n_{\text{laikutus}} = 2/3$ ja $n_{\text{mätästys}} = 4/4$ (1-vuotiaat/2-vuotiaat)).

	Äestys	Laikutus	Mätästys
Istutustiheys, taimia ha ⁻¹			
1-vuotias taimimateriaali	2043 ± 260	2095 ± 134	1908 ± 517
2-vuotias taimimateriaali	2218 ± 181	1720 ± 469	1778 ± 163
Keskimäärin	2123 ± 235	1870 ± 396	1843 ± 361
Istutustaimia 4. kasvukauden jälkeen, taimia ha ⁻¹			
1-vuotias taimimateriaali	1687 ± 219	1900 ± 42	1748 ± 535
2-vuotias taimimateriaali	1762 ± 270	1603 ± 448	1657 ± 133
Keskimäärin	1721 ± 234	1722 ± 357	1711 ± 363
Kuolleisuus neljän ensimmäisen vuoden aikana, %			
1-vuotias taimimateriaali	17 ± 11	8 ± 4	9 ± 3
2-vuotias taimimateriaali	21 ± 9 a	7 ± 7 b	6 ± 2 b
Keskimäärin	19 ± 10 a	7 ± 5 b	7 ± 3 b

Taulukko 3. Istutustaimien elossaolon todennäköisyyttä (4. kasvukauden jälkeen) kuvaava logisti-
nen sekamalli (1). Analyysissä ovat mukana kivennäismaaksi luokitellut koealat. Eri kirjaimilla mer-
kittyjen luokkamuuttujatasojen välillä on merkitsevä ero ($p < 0,05$; referenssiluokan tunnus a).

Kiinteä selittäjä / parametri	Estimaatti (keskivirhe)	χ^2 -arvo	p-arvo
Vakio, β_0	1,340 (0,369)	13,260	<0,001
Istutuspaikan taso (ref. tasalla)		7,889	0,019
Istutuspaikan taso _{ylempänä} , β_1	0,134 (0,214) a		
Istutuspaikan taso _{alempana} , β_2	-0,349 (0,136) b		
Istutusalustan laatu (ref. kivennäismaa)		35,795	<0,001
Istutusalustan laatu _{sekoitus} , β_3	-0,492 (0,148) b		
Istutusalustan laatu _{humus} , β_4	-1,083 (0,182)	c	
Muokkausjälki (ref. muokkausjäljessä)		6,709	0,009
Muokkausjälki _{ei} , β_5	-0,460 (0,178)		
Istutussyvyys (ref. normaali)		6,030	0,049
Istutussyvyys _{syvä} , β_6	0,763 (0,312) b		
Istutussyvyys _{pinta} , β_7	0,037 (0,153) a		
Etäisyys humuksesta (cm), β_8	0,012 (0,006)	4,712	0,029
Istutuspituus (cm), β_9	0,041 (0,011)	13,020	<0,001
Muokkausmenetelmä (ref. äestys)		7,681	0,021
Muokkausmenetelmä _{laikutus} , β_{10}	1,160 (0,476) b		
Muokkausmenetelmä _{mätästys} , β_{11}	0,866 (0,433) b		
Satunnaisosat			
Uudistusalan varianssi, σ^2_u	0,583 (0,219)		
Koealan varianssi, σ^2_v	0,530 (0,115)		
Havaintomäärät			
Uudistusalan taso, N_k	23		
Koealan taso, N_{jk}	226		
Taimien taso, N_{ijk}	4431		

Taulukko 4. Ensimmäisen neljän vuoden aikana kuolleiden istutustaimien määrä ja kuolleisuuden aiheuttajat muokkaustavoittain (osuus kuolleista istutustaimista $\pm$ taimikoiden välinen hajonta, $n_{\text{äestys}} = 6/5$, $n_{\text{laikutus}} = 2/3$ ja $n_{\text{mätästys}} = 4/4$ (1-vuotiaat/2-vuotiaat)).

	Pinta- kasvit	Hyön- teiset	Nisäkkäät	Abioot- tiset	Muut syyt	Tunte- maton	Kuolleita taimia, ha ⁻¹
	Osuus kuolleista istutustaimista, %						
Äestys							
1-vuotias	4 $\pm$ 3	50 $\pm$ 30	9 $\pm$ 12	14 $\pm$ 11	9 $\pm$ 10	14 $\pm$ 8	356 $\pm$ 265
2-vuotias	6 $\pm$ 8	64 $\pm$ 12	3 $\pm$ 2	8 $\pm$ 5	6 $\pm$ 7	13 $\pm$ 6	456 $\pm$ 180
Laikutus							
1-vuotias	0 $\pm$ 0	48 $\pm$ 14	23 $\pm$ 0	12 $\pm$ 5	0 $\pm$ 0	17 $\pm$ 8	195 $\pm$ 92
2-vuotias ^{a)}	8 $\pm$ 11	49 $\pm$ 15	6 $\pm$ 2	6 $\pm$ 2	0 $\pm$ 0	31 $\pm$ 1	117 $\pm$ 111
Mätästys							
1-vuotias	10 $\pm$ 19	43 $\pm$ 25	2 $\pm$ 5	14 $\pm$ 11	15 $\pm$ 26	16 $\pm$ 5	153 $\pm$ 33
2-vuotias	9 $\pm$ 6	27 $\pm$ 16	7 $\pm$ 8	13 $\pm$ 25	11 $\pm$ 6	33 $\pm$ 13	103 $\pm$ 45
Keskimäärin	6 $\pm$ 9	48 $\pm$ 23	7 $\pm$ 9	11 $\pm$ 12	7 $\pm$ 13	21 $\pm$ 12	258 $\pm$ 207

^{a)} Yhdellä uudistusosalalla ei kuolleisuutta

kivennäismaapinnalle istutettuihin taimiin verrattuna. Aineistossa keskimääräinen istutustaimien kuolleisuus oli humuspinnalla 20, sekoituksessa 13 ja kivennäismaapinnalla 10 %. Mallin mukaan istutustaimien elossaolo oli maanpinnan tasolla ja kohoumilla parempi verrattuna keskimääräistä maanpintaa alemmaksi istutettuihin taimiin. Samoin syvään istutettujen taimien kuolleisuus (keskimäärin 8 %) jäi normaali syvyyteen tai pintaan istutettuja alhaisemmaksi (13–14 %). Muokkaamattomaan kohtaan istutettujen taimien kuolleisuus (keskimäärin 27 %) oli muokattuun kohtaan istutettuja suurempi (keskimäärin 12 %). Taimen etäisyys humuksesta sekä taimen istutuspituus vaikuttavat positiivisesti istutustaimien menestymiseen. Näiden taimitason tunnusten lisäksi istutustaimien elossaoloa selitti uudistusalan maanmuokkausmenetelmä. Sekä laikutus- että mätästysaloilla istutustaimet menestyivät paremmin kuin äestysaloilla.

Malli sovitettiin myös maanmuokkaustavoittain, mutta se ei tuonut uusia selittäjiä koko aineistosta laadittuun malliin verrattuna. Laikutettujen uudistusalojen välillä istutustaimien elossaolo vaihteli eniten, mätästysalojen välillä vaihtelu oli vähäisintä. Taimen ikä, istutusvuosi tai koealan maalaji eivät osoittautuneet merkitseviksi selittäjiksi mallissa.

3.2 Mihin kuusen istutustaimet tuhoutuivat?

Merkitykseltään suurin kuolleisuuden aiheuttajaryhmä oli hyönteistuhot, jotka koostui lähes yksinomaan tukkimiehentäin aiheuttamista tuhoista (taulukko 4). Äestysaloilla yli 50–65 %, laikutusaloilla 50 % ja mätästysaloilla 30–40 % kuolleisuudesta luokitettiin tukkimiehentäin aiheuttamiksi. Keskimäärin tukkimiehentäin tuhoamia taimia oli äestysaloilla 253, laikutusaloilla 72 ja mätästysaloilla 50 kappaletta hehtaarilla. Tuhot olivat äestysaloilla suuremmat kuin laikutus- tai mätästysaloilla. Suurimmillaan tuhottu olivat kolmena ensimmäisenä vuonna, neljäntenä vuonna tukkimiehentäin tuhoamien taimien määrä laski noin puoleen aiempien vuosien tuhomäärästä.

Seuraavaksi suurimmaksi tuhoaiheuttajaksi osoittautuivat tunnistamattomat tuhot, joita oli 13–33 %. Tyypillisin tunnistamaton tuhomerkintä aiheutui tapauksista, joissa taimi oli kokonaan hävinnyt. Nisäkkäiden, lähinnä myyrien ja hirvien sekä abioottisten tuhojen, kuten istutuspaikan märkyyden tai kuivuuden aiheuttamia tuhoja oli muutamilla uudistusaloilla. Pintakasvillisuuden aiheuttamia tuhoja oli tässä vaiheessa vähän ja ne olivat syntyneet tarkastelujakson viimeisinä vuosina.

1- ja 2-vuotiaiden taimien kuolleisuuden aiheuttajat olivat hyvin samankaltaisia. Laikutus- ja mätästysaloilla 2-vuotiaat olivat menestyneet hieman

1-vuotiaita taimia paremmin, mutta äestysaloilla tilanne oli päinvastainen, mikä johtui ennen kaikkea yhdessä taimikossa olleista poikkeuksellisen suurista tukkimiehentäin aiheuttamista tuhoista (470 tainta hehtaarilla). Absoluuttisesti mittavin tukkimiehentäin aiheuttama oli 1-vuotialla taimilla perustetulla äestäen muokatulla uudistusosalalla, jossa 510 istutustainta hehtaarilta oli kuollut tukkimiehentäin aiheuttamiin vaurioihin.

3.3 Tukkimiehentäin aiheuttamat vauriot

Kaikilta uudistusaloilta löytyi kesäkuussa 2001 tehdystä ”pyynnissä” tukkimiehentäitä. Niitä oli keskimäärin 2–3 kappaletta pyyntikapulassa (uudistusalojen välillä keskiarvo vaihteli 0,2–6,7) ja parhaimmillaan yksittäisessä pyyntikapulassa oli 14 yksilöä. Eri tavoin muokattujen uudistusalojen välillä ei ollut eroa tukkimiehentäiden esiintymistiheydessä; äestysaloilla oli keskimäärin 2,7, laikutusaloiilla 3,0 ja mätästysaloilla 2,4 yksilöä/pyyntikapula.

Ensimmäisen neljän kasvukauden aikana äestysaloilla tukkimiehentäin syönnin kohteeksi oli joutunut 54 % istutustaimista (sisältää myös kuolleet istutustaimet). Laikutusaloiilla vastaava luku oli 40 ja mätästysaloilla 20 %. Uudistusaloittain tukkimiehentäin vaurioittamien taimien osuus vaihteli äestysaloilla 15–82 %:iin, laikutusaloiilla 22–63 %:iin ja mätästysaloilla 6–51 %:iin. Istutustaimia, joita tukkimiehentäin oli syönyt kahtena kasvukautena, oli äestysaloilla 13 %, laikutusaloiilla 6 % ja mätästysaloilla 2 %. Kolmena kasvukautena syötyjen taimien vastaavat osuudet olivat 2 %, 2 % ja 0,3 % istutetuista taimista. Tukkimiehentäin aiheuttamia vaurioita oli 44 %:ssa 1-vuotiaissa ja 36 %:ssa 2-vuotiaissa taimissa.

Suurimmillaan tukkimiehentäin aiheuttamat vauriot olivat toisena ja kolmantena kasvukautena. Tällöin syöntijälkiä oli äestysaloilla keskimäärin lähes 30 %:ssa, laikutusaloiilla 20 %:ssa ja mätästysaloilla 5–10 %:ssa taimista vuosittain. Valtaosa vaurioista oli lieviä tai kohtalaisia, jolloin kuorta oli syöty vain rungon toiselta puolelta. Vuodesta toiseen tuhoja esiintyi 1-vuotiaissa taimissa hieman enemmän kuin 2-vuotiaissa taimissa. Viljelyvuosien välillä ei ollut eroa tukkimiehentäin aiheuttamien tuhojen kokonaismäärässä, mutta sekä vuonna 2000 että 2001 istutetuissa taimissa oli kasvukaudella 2002 eniten

tuhoja. Tällöin keskimäärin joka neljännessä taimessa oli syöntijälkiä.

Tukkimiehentäin aiheuttamien vaurioiden esiintymistä kuvaavan logistisen sekamallin (malli 1) mukaan tärkeimmiksi selittäviksi tekijöiksi nousivat istutuskohdan korkeusasema ja istutusalustan laatu (taulukko 5). Kun mallissa oli mukana istutusalustan laatu, taimen etäisyys humuksesta ei enää osoittautunut merkitseväksi selittäjäksi. Mallin mukaan kohoumalle kivennäismaapintaan istutetuissa taimissa oli merkitsevästi vähemmän tukkimiehentäin syöntejä kuin muualle istutetuissa taimissa. Samoin mätästysaloilla oli tukkimiehentäin tuhoriski äestys- ja laikutusaloija merkitsevästi pienempi. Laikutus- ja äestysalojen välillä ei sen sijaan ollut eroa tukkimiehentäin syönteissä.

Tukkimiehentäin aiheuttamien vaurioiden osuus pieneni melko lineaarisesti kaikilla muokkaustavoilla taimen ja humuksenreunan välisen etäisyyden kasvaessa (kuva 2). Humukseen tai humuksen reunaan istutetuissa taimissa syöntijälkiä löytyi joka toisesta taimesta. Mätästysaloilla syötyjen taimien osuus laski 20 %:n tasolle, kun etäisyys humukseen kasvoi yli 10 cm:n. Laikutus- ja äestysaloilla syötyjen taimien osuus pysytteli 25–50 %:n tasolla, vaikka taimen etäisyys humuksesta kasvoi yli 20 cm:n. Tasapinnalla syöntejä tavattiin eniten ja kohoumille istutetuissa taimissa vähiten. Äestysaloilla tasapinnalle istutetuista taimista 57 %:ssa, laikutusaloiilla 47 %:ssa ja mätästysaloilla 32 %:ssa oli syöntijälkiä, kun kohoumilla vastaavat osuudet olivat 38 %, 31 % ja 15 %. Keskimääräistä maanpinnan tason alapuolelle istutettujen taimien istutusalusta oli tavallista useammin kivennäismaata, mikä vähensi tukkimiehentäin tuhoja näissä taimissa.

3.4 Istutustaimien pituuskehitys

Neljännän kasvukauden jälkeen 2-vuotiaiden istutustaimien pituus oli keskimäärin 74 cm ja 1-vuotiaiden 61 cm (kuva 3). 1- ja 2-vuotiaana istutettujen taimien pituuskehitys oli ollut samankaltaista. Molemmat olivat saavuttaneet keskimäärin 60 cm:n pituuden viiden vuoden iässä (biologinen ikä).

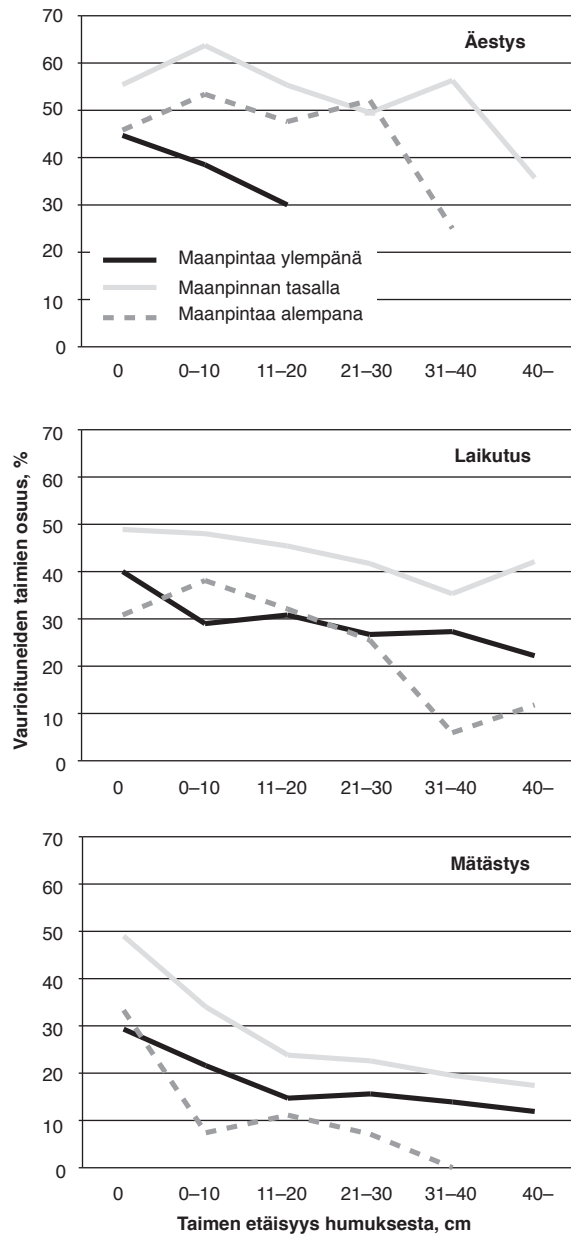
Taimen pituutta neljännän kasvukauden jälkeen selittävässä sekamallissa (malli 2, taulukko 6) merkitseviksi tekijöiksi nousivat taimen istutuspituus, istutussyvyys, istutusalustan laatu, istutuspiste

Taulukko 5. Istutustaimissa neljän ensimmäisen kasvukauden aikana esiintyneiden tukkimiehintäin aiheuttamien tuhojen todennäköisyyttä kuvaava logistinen sekamalli (1). Aineisto sisältää myös kuolleet taimet. Analyysissä ovat mukana kivennäismaaksi luokitellut koealat. Eri kirjaimilla merkittyjen luokkamuuttujan tasojen välillä on merkitsevä ero ($p < 0,05$; referenssiluokan tunnus a).

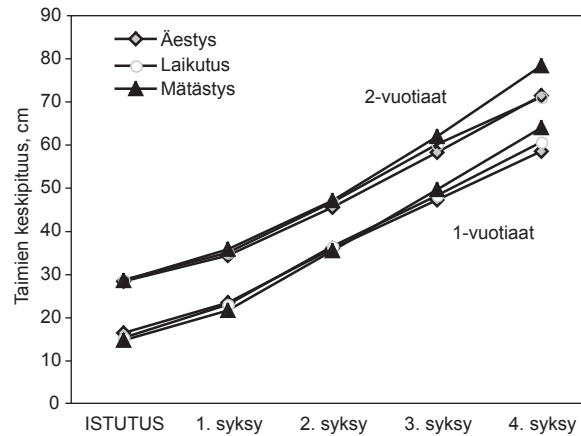
Kiinteä selittäjä / parametri	Estimaatti (keskivirhe)	χ^2 -arvo	p-arvo
Vakio, β_0	0,165 (0,325)	0,256	0,612
Istutusalueen laatu (ref. kivennäismaa)		34,038	<0,001
Istutusalueen laatu _{sekoitus} , β_1	0,359 (0,099) b		
Istutusalueen laatu _{humus} , β_2	0,622 (0,110) c		
Istutuspaikan taso (ref. tasalla)		41,566	<0,001
Istutuspaikan taso _{ylempänä} , β_3	-0,723 (0,130) b		
Istutuspaikan taso _{alempänä} , β_4	-0,423 (0,101) c		
Muokausmenetelmä (ref. äestys)		9,962	0,001
Muokausmenetelmä _{laikutus} , β_5	-0,673 (0,574) a		
Muokausmenetelmä _{mätästys} , β_6	-1,658 (0,526) b		
Satunnaisosa			
Uudistusalanvarianssi, σ^2_u	1,023 (0,340)		
Koealanvarianssi, σ^2_v	0,753 (0,110)		
Havaintomäärät			
Uudistusalan, N_k	23		
Koealan, N_{jk}	226		
Taimien, N_{ijk}	4478		

Taulukko 6. Istutustaimien neljännen kasvukauden pituutta selittävä sekamalli (2). Aineisto sisältää neljäntenä syksynä kasvatuskelpoisiksi luokitellut taimet. Analyysissä ovat mukana kivennäismaaksi luokitellut koealat. Eri kirjaimilla merkittyjen luokkamuuttujatasojen välillä on merkitsevä ero ($p < 0,05$; referenssiluokan tunnus a).

Kiinteä selittäjä / parametri	Estimaatti (keskivirhe)	χ^2 -arvo	p-arvo
Vakio, β_0	7,073 (0,136)	2700,141	<0,001
Istutuspituus, β_1	0,064 (0,004)	281,317	<0,001
Istutusalueen laatu (ref. kivennäismaa)		17,056	<0,001
Istutusalueen laatu _{sekoitus} , β_2	0,081 (0,046) a		
Istutusalueen laatu _{humus} , β_3	-0,145 (0,052) b		
Istutussyvyys (ref. normaali syvyys)		9,266	0,002
Istutussyvyys _{syvä} , β_4	-0,018 (0,088) a		
Istutussyvyys _{pinta} , β_5	-0,160 (0,052) b		
Istutuspaikan taso (ref. tasalla)		27,487	<0,001
Istutuspaikan taso _{ylempänä} , β_6	0,144 (0,054) b		
Istutuspaikan taso _{alempänä} , β_7	-0,176 (0,045) c		
Etäisyys humuksesta, β_8	-0,006 (0,001)	16,811	<0,001
Tukkimiehintäin syönti (ref. tukkimiehintäin syönyt)			
Tukkimiehintäin syönti _{ei} , β_9	0,195 (0,040)	24,173	<0,001
Pintakasvillisuuden peittävyys, β_{10}	-0,227 (0,015)	237,778	<0,001
Lehtipuiden määrä, β_{11}	-0,010 (0,002)	16,578	<0,001
Satunnaisosa			
Uudistusalanvarianssi, σ^2_u	0,151 (0,051)		
Koealanvarianssi, σ^2_v	0,144 (0,020)		
Jäännösvarianssi, σ^2_e	0,863 (0,021)		
Havaintomäärät			
Uudistusalan, N_k	23		
Koealan, N_{jk}	219		
Taimien, N_{ijk}	3531		



Kuva 2. Tukkimiehentäin aiheuttamien vaurioiden osuus neljän ensimmäisen kasvukauden aikana eri korkeusasemaan ja eri etäisyyksille humuksen reunasta istutetuissa taimissa äestys-, laikutus- ja mätästysjäljessä. Tarkastelussa ovat mukana samat taimet kuin kuvassa 1.



Kuva 3. 1- ja 2-vuotiaiden kuusen taimien keskipituuden kehitys äestys-, laikutus- ja mätästysaloilla.

taso, taimen etäisyys humuksesta, tukkimiehentäin syönte, pintakasvillisuuden peittävyys sekä lehtipuuston määrä taimien lähiympäristössä. Suurempi istutusmateriaali koko näkyi myös neljännen kasvukauden jälkeen suurempana pituutena. Liian pintaan, humuspintaan, keskimääräistä maanpinta alemmaksi ja kauaksi humuksesta istutetut taimet olivat kasvaneet muita heikommin. Myös tukkimiehentäin aiheuttamat vauriot heikensivät istutustaimien pituuskehitystä. Samoin häiritsevän pintakasvillisuuden (pääasiassa heinän, horsman ja vadelman) peittävyyden kasvu heikensi istutustaimien pituuskehitystä. Lisäksi istutustaimen lähiympäristön lehtipuiden tiheydellä oli pituuskehitystä hidastava vaikutus, mikä kuvastanee istutustaimen lähiympäristön ja taimen kilpailutilannetta.

Uudistusalan muokkausmenetelmä ei noussut merkittäväksi istutustaimien pituuden vaihtelua selittäväksi tekijäksi. Pituuskehityksen selittämättömästä vaihtelusta valtaosa jäi taimitasolle. Mallin residuaalijakaumat taimi- ja koealatasolla noudattivat melko hyvin normaalijakaumaa.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen aineisto koostui 24 käytännön uudistusalaista, jotka oli muokattu äestäen, laikuttaen tai mätästäen ja istutettu joko 1- tai 2-vuotiailla kuu-

sen paakkutaimilla. Käytetty taimimateriaali vaihteli jonkin verran uudistusalojen välillä, mutta pääosa taimista oli kasvatettu Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen taimitarhalla. Tarkastellut uudistusalat sijaitsivat parin kunnan alueella Sisä-Savossa, mikä heikentää tulosten maantieteellistä yleistettävyyttä, mutta toisaalta pitkälti yhtäläisen viljelymateriaalin käyttö ja taimien alkukehitys hyvin samankaltaisissa olosuhteissa antaa mahdollisuuden istutustaimien menestymiserojen tutkimiseen erilaisissa muokausjäljissä käytännön uudistusaloilla. Toisaalta käytännön toiminnassa maankäsittelymenetelmien valinta ohjautuu kasvupaikan ominaisuuksien mukaan, mikä vaikeuttaa maankäsittelyjen luotettavaa vertailua.

Istutustaimista kuoli neljän ensimmäisen kasvukauden aikana äestysaloilla merkitsevästi enemmän (keskimäärin 19 %) kuin laikutus- tai mätästysaloilla (keskimäärin 7 %). Kuolleisuus oli keskimäärin selvästi alhaisempaa kuin mihin 1970–1980-lukujen istutuskokeissa päädyttiin (ks. yhteenveto Rikala 1994), ja hieman viime vuosina Suomessa ja Ruotsissa saavutettuja koetuloksia (ks. yhteenveto Luoranen ja Kiljunen 2006) pienempi. Nyt saadut tulokset vastasivat hyvin käytännössä tehtyjä havaintoja kuusen paakkutaimien menestymisestä mätästysjäljessä (Schildt 2000).

Mätästykseen ylivertaisuus kuusen istutustaimien kasvualustana äesjälkeen verrattuna on aiemminkin osoitettu useissa tutkimuksissa (Hallsby ja Örlander 2004, Heiskanen ja Viiri 2005). Tässä aineistossa kohoumien runsas määrä laikutuksessa selittää osin hyvää laikutusaloilla saatua istutustulosta. Muutoinkin kaivurilaikutuksessa syntyvät laikut ovat käsityönä tehtyjä tai jatkuvatoimisella laikkurilla aikaansaatuja laikkuja laajempia, mikä selittää tässä aineistossa kuusten parempaa menestymistä laikutusaloilla aiempiin tutkimuksiin verrattuna (Raulo ja Rikala 1981). Aineiston laikutetut alat olivat viljavuudeltaan aineiston karuimpia, jolla on voinut olla positiivinen vaikutus kuusen istutustaimien elossaoloon.

Logistisen sekamallin mukaan kivennäismaapintaiselle kohoumalle syvään istutetut taimet säilyivät parhaiten elossa. Samoin istutuspisteen etäisyys humuksesta vaikutti positiivisesti taimen menestymiseen. Edellä mainittujen tekijöiden tiedetään aiempien tutkimusten perusteella ehkäise-

vän tukkimiehentäin tuhoja (Nordlander ym. 2005, Petersson ym. 2005, Heiskanen ja Viiri 2005), joiden havaittiin tässäkin tutkimuksessa olevan suurin yksittäinen kuusen taimen kuolleisuutta aiheuttava tekijä. Äestys- ja laikutusaloilla 50–60 % ja mätästysaloilla 30–40 % istutustaimien kuolleisuudesta voitiin todeta johtuneen tukkimiehentäin ja juurini-lurin aiheuttamista tuhoista. Sen lisäksi osa tunnistamattomista tuhoista on todennäköisesti myös ollut tukkimiehentäin aiheuttamia.

Tukkimiehentäitä todettiin koepyyntin avulla olevan kaikilla tutkimuksen uudistusaloilla. Samoin tukkimiehentäin syöntijälkiä löytyi taimista kaikilta seuratuilta uudistusaloilta. Äestysaloilla yli 50 % taimista oli joutunut tukkimiehentäin syönnin kohteeksi. Laikutusaloilla tukkimiehentäin syöntijälkiä oli 40 %:ssa ja mätästysaloilla 20 %:ssa taimista. Näillä käytännön uudistusaloilla mätästykseen tukkimiehentäin tuhoja ehkäisevä vaikutus näytti toimivan pidempään, kuin mitä kenttäkokeissa on todettu (Örlander ja Nilsson 1999, Heiskanen ja Viiri 2005).

Suurimmillaan tukkimiehentäiden tuhot olivat toisena ja kolmantena kasvukautena. Tässä aineistossa laajimmat tukkimiehentäin aiheuttamat vauriot olivat vuonna 2002, jolloin kasvukausi oli keskimääräistä lämpimämpi ja loppukesä myös normaalia kuivempi (ks. Heiskanen ja Rikala 2006). Ilmeisesti kasvukauden keskimääräistä lämpimämmät ja kuivemmat olosuhteet suosivat myös tukkimiehentäitä (Örlander ja Nilsson 1999). Neljäntenä kasvukautena tukkimiehentäin syönnit olivat jo vähäisiä ja useimmat taimet olivat jo kokonsa puolesta turvassa vakavilta tukkimiehentäin aiheuttamilta tuhoilta (Örlander ja Karlsson 2000, Thorsén ym. 2001).

Voimakkaimmiksi yksittäisiksi tukkimiehentäin tuhoalttiutta selittäviksi tekijöiksi osoittautuivat tässäkin tutkimuksessa taimen etäisyys humuksesta (Örlander ja Nilsson 1999) sekä istutuspisteen korkeusasema lähiympäristöön verrattuna sekä istutuslaidan laatu muokkaustavasta riippumatta (Nordlander ym. 2005). Kaikilla muokkausjäljillä lähelle humusta, humuspinnalle tai humuksen ja kivennäismaan seokseen, maanpinnan tasolle istutetut taimet olivat alttiimpia tukkimiehentäin syönnille. Mätästysjäljessä taimen etäisyys humuksesta vähensi tukkimiehentäin tuhoja voimakkaammin kuin laikutus- tai äesjäljessä. Mätästysalojen pienemmät

tukkimiehintäin aiheuttamat tuhot johtuivat ennen kaikkea siitä, että mätästysaloilla yli 50 % istutus-taimista oli istutettu kohoumille ja taimien etäisyys humuksesta oli keskimäärin yli 25 cm. Laikutus- ja äestysaloilla 60–70 % taimista oli istutettu maanpin-nan tasolle ja keskimääräinen etäisyys humuksesta jäi lähelle 10 cm:ä.

Istutustaimien pituuskehitys oli 1- ja 2-vuotiailla taimilla hyvin samankaltainen kun otetaan huo-mioon taimien biologinen ikäero. Istutustaimien keskimääräinen pituuskehitys noudatti melko tar-kasti Saksan ym. (2005) esittämää istutuskuusikon keskipituuden kehitystä. Useissa aiemmissa tutki-muksissa (Örlander ym. 1998, Hallsby ja Örlander 2004, Saksa ym. 2005, Heiskanen ja Rikala 2006) kuusen istutustaimien pituuskehitys on ollut mätäs-tysaloilla äestys- tai laikutusaloja ripeämpää, mutta tässä tutkimuksessa näiden muokkausmenetelmien välillä ei sovitettun sekamallin mukaan ollut eroa taimen pituuskehityssä.

Neljännän kasvukauden lopussa istutustaimien pituutta selittivät taimen pituus istutushetkellä se-kä istutussyvyys. Kookkaampien kuusen taimien on aiemminkin todettu kasvavan pienempiä paremmin (Rikala ja Aphalo 1998). Samoin syväistutuksen elossaoloa ja pituuskehitystä edistävä vaikutus on ollut pitkään tiedossa (Sutton 1967, Huuri 1972, Macdam ja Bedford 1998). Muutoin pituuskehitys-tä edistivät pitkälti samat istutuspisteeseen liittyvät tekijät kuin taimien elossaoloakin. Näiden lisäksi taimen ja sen lähiympäristön kilpailua kuvaavat pintakasvillisuuden peittävyys ja lehtipuuston määrän kasvu heikensivät istutustaimien pituuden kehittymistä.

Tämän tutkimuksen mukaan kuusen taimet menestyivät parhaiten kun ne oli istutettu kiven-näismaapinta-aisilla kohoumilla ja taimen etäisyys humukseen oli riittävä. Tällöin voitiin pienentää tukkimiehintäin aiheuttamia tuhoja oleellisesti. Käytännön uudistusaloilla maanmuokkausta edel-leen kehitettäessä tulisi kiinnittää erityistä huomio-ta muokkausjäljen laatuun, jotta uudistusalaalla olisi riittävästi viljelykelpoisia ja tasalaatuisia kohoumia istutusta varten.

Kirjallisuus

- Cajander, A.K. 1926. The theory of forest types. *Acta Forestalia Fennica* 29(3). 108 s.
- 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. *Acta Forestalia Fennica* 56(4). 69 s.
- Hallsby, G. & Örlander, G. 2004. A comparison of mounding and inverting to establish Norway spruce on podzolic soils in Sweden. *Forestry* 77: 107–117.
- Heiskanen, J. & Rikala, R. 2006. Root growth and nu-trient uptake of Norway spruce container seedlings planted in mounded boreal forest soil. *Forest Ecology and Management* 222: 410–417.
- & Viiri, H. 2005. Effects of mounding on damage by the European pine weevil in planted Norway spruce seedlings. *Northern Journal of Applied Forestry* 22(3): 154–161.
- , Mäkitalo, K. & Hyvönen, J. 2007. Long-term influ-ence of site preparation on water-retention charac-teristics of forest soil in Finnish Lapland. *Forest Ecology and Management* 241: 127–133.
- Huuri, O. 1972. Istutuksen suoritustavan vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 75(6). 92 s.
- Hytönen, J. 1995. Taimien alkukehitys pellonmetsitys-aloilla. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitok-sen tiedonantoja 581: 12–23.
- Kinnunen, K. 1989. Taimilajin ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. *Folia Forestalia* 727. 23 s.
- Kubin, E. & Kemppainen, L. 1994. Effect of soil prepara-tion of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica* 244. 56 s.
- Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84(2). 64 s.
- Långström, B. 1982. Abundance and seasonal activity of adult *Hylobius*-weevils in reforestation areas during first years following final felling. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 106. 23 s.
- Luoranen, J. & Kiljunen, N. 2006. Kuusen paakkutaimien viljelyopas. Metsäntutkimuslaitos. 108 s.
- , Saksa, T., Finér, L. & Tamminen, P. 2007. Metsämaan muokkausopas. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen yk-sikkö. 76 s.
- Lähde, E. 1978. Effect of soil treatment on physical prop-

- erties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 94(5). 59 s.
- Macadam, A. & Bedford, L. 1998. Mounding in the sub-boreal spruce zone of west-central British Columbia: 8-year results. *The Forestry Chronicle* 74(3): 421–427.
- Metinfo. Tilastopalvelu. 2009. [www.sivusto]. Metla. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/metsienhoito/>. [Viitattu 1.12.2009].
- Metsänviljelyyn toimitettujen taimien määrät 2008. 2009. [Verkkodokumentti]. Evira. Saatavissa: http://www.evira.fi/portal/fi/kasvintuotanto_ja_rehut/metsanviljely/tilastot/. [Viitattu 1.12.2009].
- Mälkönen, E. 2001. Kasvupaikka. Julkaisussa: Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). Onnistunut metsänuudistaminen. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 65–69.
- Nilsson, U. & Örlander, G. 1999. Vegetation management on grass-dominated clear-cuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1015–1026.
- Nordlander, G., Bylund, H., Örlander, G. & Wallertz, K. 2003. Pine weevil population density and damage to coniferous seedlings in a regeneration area with and without shelterwood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 438–448.
- , Bylund, H. & Björklund, N. 2005. Soil type and microtopography influencing feeding above and below ground by the pine weevil *Hylobius abietis* (L.). *Agricultural and Forest Entomology* 7: 107–113.
- , Nordenhem, H. & Hellqvist, C. 2009. A flexible sand coating (Conniflex) for protection of conifer seedlings against damage by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Agricultural and forest Entomology* 11: 91–100.
- , Örlander, G., Petersson, M. & Hellqvist, C. [s.a.] Skogsskötselåtgärder mot snytbagge. Webbhandbok. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: www2.ekol.slu.se/snytbagge/attachment/snytbaggehandbok_v1_3.pdf. [Viitattu 1.12.2009].
- Petersson, M. & Örlander, G. 2003. Effectiveness of combinations of shelterwood, scarification, and feeding barriers to reduce pine weevil damage. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 64–73.
- , Örlander, G. & Nordlander, G. 2005. Soil features affecting damage to conifer seedlings by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forestry* 78: 83–92.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(4). 98 s.
- Rasbash, J., Steele, F., Browne, W.J. & Goldstein, H. 2004. A user's guide to MlwiN. Version 2.10. [Verkkodokumentti]. Centre for Multilevel Modelling, University of Bristol. 296 s. Saatavissa: <http://www.cmm.bristol.ac.uk/>. [Viitattu 1.12.2009].
- Raulo, J. & Rikala, R. 1981. Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsitellyllä viljelyalalla. *Folia Forestalia* 462. 13 s.
- Rikala, R. 1994. Miksi taimet kuolevat – tarvitaanko taimitutkimusta? Julkaisussa: Smolander, H. & Rautala, J. (toim.). Taimitarhapäivät Suomenjoen tutkimusalueella 17.–18.8.1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 496: 11–26.
- 2002. Metsätaimiopas – taimien valinta ja käsittely tarhalta uudistusalalle. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 881. 107 s.
- & Aphalo, P. 1998. Kasvatustiheyden ja paakkukoon vaikutus taimien ominaisuuksiin taimitarhalla ja menestymiseen istutuksen jälkeen. Julkaisussa: Poteri, M. (toim.). Taimitarhatutkimuksen vuosikirja 1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 696: 21–35.
- Saksa, T. 1998. Männyn istutustaimien menestyminen äestetyllä uudistusalalla. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1998: 15–31.
- & Kankaanhuhta, V. 2007. Metsänuudistamisen laatu ja keskeisimmät kehittämiskohteet Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos, Suomenjoen yksikkö. 90 s.
- , Nerg, J. & Tuovinen, J. 1990. Havupuutaimikoiden tila 3–8 vuoden kuluttua istutuksesta tuoreilla kankeilla Pohjois-Savossa. Summary: State of 3–8 years old Scots pine and Norway spruce plantations. *Folia Forestalia* 753. 30 s.
- , Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J. & Kolström, T. 2005. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39(1): 143–153.
- Schildt, J. 2000. Mätästys ja istutus ovat kuusen uudistamisessa ylivoimainen yhdistelmä. *Metsä* 5/2000: 10–11.
- Searle, S.R., Casella, G. & McGulloch, C.E. 1992. Variance components. Wiley, New York. 501 s.
- Sutton, R.F. 1967. Influence of planting depth on early growth of conifers. *Commonwealth forestry review* 46(4): 282–295.
- Sydow, F. von. 1997. Abundance of pine weevils (*Hylobius abietis*) and damage to conifer seedlings in rela-

- tion to silvicultural practices. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 157–167.
- Thorsén, Å., Mattsson S. & Weslien J. 2001. Influence of stem diameter on the survival and growth of containerized Norway spruce seedlings attacked by pine weevils (*Hylobius* spp.). *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 54–66.
- Uotila, A. & Kankaanhuhta, V. 1999. Metsätuhojen tunnistus ja torjunta. *Metsälehti Kustannus*. 215 s.
- Valtanen, J. 1983. Muokkaustavat ja metsänuudistamisen tulos. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Suomussalmella ja Sotkamossa 1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 119: 63–72.
- & Engberg, M. 1987. Vuosina 1970–72 perustetun aukeusalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla. *Folia Forestalia* 686. 42 s.
- Viiri, H. 2009. Tukkimiehentäin ennakkotorjunta taimitarhoilla. *Taimiuutiset* 3/2009: 18.
- Wilson, W.L., Day, K.R. & Hart, E.A. 1996. Predicting the extent of damage to conifer seedlings by pine weevil (*Hylobius abietis* L.): a preliminary risk model by multiple logistic regression. *New Forests* 12: 203–222.
- Örlander, G. & Karlsson, K. 2000. Influence of shelterwood density on survival and height increment of *Picea abies* advance growth. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 20–29.
- & Nilsson, U. 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage and seedling survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14:341–354.
- , Hallsby, G., Gemmel, P. & Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* – 10-year results from a site preparation trial in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 160–168.

49 viitettä