



Hakkuutähde ja metsänuudistaminen

Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen tutkimushankkeen loppuraportti

Timo Saksa, Leo Tervo & Kari Kautto



PUUENERGIA

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

METLA

04.07.02

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 851, 2002

Hakkuutähde ja metsänuudistaminen

Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen
tutkimushankkeen loppuraportti

Timo Saksa, Leo Tervo & Kari Kautto



PUUENERGIA

SUONENJOEN TUTKIMUSASEMA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto
Jokiniemenkuja 3 B
FI-18, 01301 VANTAA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto
Jokiniemenkuja 3 B
FI-18, 01301 VANTAA

Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähde ja metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 851. 41 s. ISBN 951-40-1831-1. ISSN 0358-4283.

Tutkimuksessa selvitettiin hakkuutähteiden korjuussa jäävän tähteen määrää, maanmuokkausjäljen laatua ja metsänviljelytyön laatua käytännön uudistusaloilla. Lisäksi tutkittiin maanmuokkaus- ja metsänviljelytyötä hakkuutähteettömillä ja hakkuutähteellisillä koealueilla sekä verrattiin metsänuudistamistulosta, istutustulosta ja luontaista taimettumista suhteessa hakkuutähteen määrän.

Hakkuutähteen korjuussa saatiin keskimäärin kaksi kolmasosaa hakkuutähteestä talteen. Korjuun jälkeen jäi koekentille keskimäärin 16 000 kg ha⁻¹ hakkuutähdettä (kuiva-ainetta). Hakkuutähdemäärän mediaani aleni hakkuutähteen korjuussa 25 000:sta 8 000:teen kg ha⁻¹. Hakkuutähteistä vapaata maanpintaa oli hakkuutähteen korjuun jälkeen 15 - 20 %, kun se hakkuutähteellisillä aloilla jäi keskimäärin 10 %:iin. Vastaavasti uudistamista haittaavan hakkuutähteepiteen osuus oli hakkuutähteellisillä aloilla yli 40 %, kun sen osuus hakkuutähteen korjuun jälkeen jäi alle 25 %:iin.

Hakkuutähteellisten alueiden mätästystyön (laikkumätästys/kääntömätästys) tuottavuus oli keskimäärin 305 mätästä/tehotunti kun hakkuutähteettömillä alueilla päästiin keskimäärin 351 mättään tehotuntituotokseen. Hakkuutähteettömillä alueilla mätästys oli keskimäärin noin 15 % nopeampaa. Maanmuokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuudessa ei ollut eroa hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien koealojen välillä. Muokkausjäljen havaintojakaumakin oli laikku- ja kääntömätästyksessä hyvin samankaltainen niin hakkuutähteellisillä kuin hakkuutähteettömillä kohteilla.

Hakkuutähteen määrän noustessa muokkausjäljen peittävyys aleni kaikissa muokkaustavoissa. Laikkumätästyksessä hakkuutähteen määrän ja muokkausjäljen peittävyyden välinen negatiivinen riippuvuus oli heikoin (korrelaatio -0.049, p-arvo 0.625) ja kaivurilaikutuksessa hakkuutähteet heikensivät muokkausjälkeä voimakkaimmin (korrelaatio -0.405, p-arvo 0.022).

Istutustyön keskimääräinen tuotos oli hakkuutähteellisellä 253 ja hakkuutähteettömällä 266 tainta/tehotunti. Tämä pieni ero (5 %) selittyy pääosin istutustyössä kuljettavan matkan pitenemisestä hakkuutähteellisellä alueella verrattuna hakkuutähteettömään alaan. Istutustiheys pienehi hieman hakkuutähteen määrän kasvaessa niin laikkumätästyksessä ja kaivurilaikutuksessa mutta erityisesti äestysaloilla. Hakkuutähteen vaikutus istutustiheyteen näyttää johtuvan muokkausjäljestä. Lähes poikkeuksetta hakkuutähteen vaikutus oli suurempi muokkausjälkeen kuin istutustiheyteen.

Tutkimuksessa perustetuissa kentäkokeissa istutustaimien elossaoloon tai pituuskasvuun ei hakkuutähteellä ollut vaikutusta ensimmäisen kasvukauden aikana. Aiemmin perustetulla, neljä kasvukautta vanhalla kentäkokeella sekä kuusen että rauduskoivun kuolleisuus oli suurinta koealoilla, joilla oli eniten hakkuutähteitä. Hakkuutähteen määrä ei vaikuttanut ensimmäisien vuosien pituuskasvuun kummallakaan puulajilla.

Käytännön uudistusaloilla saavutettu uudistamistulos, arvioituna uudistamistavoitteen saavuttaneiden taimikoiden osuutena, oli kuusen istutuksessa hakkuutähteen

korjuualoilla yli 70 % kun hakkuutähteellisillä aloilla vastaava osuus oli 33 %. Samoin rauduskoivikot olivat hakkuutähteen korjuukohteilla hieman parempia kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla. Pääosin tämä ero johtui hakkuutähteen korjuualoilla tapahtuneesta runsaasta luontaisesta taimettumisesta.

Avainsanat: metsänuudistaminen, maanmuokkaus, istutus, hakkuutähde

Kirjoittajien yhteystiedot: Timo Saksa, Leo Tervo, Kari Kautto, Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, Juntintie 40, 77600 Suonenjoki, puhelin: 017 513 811, sähköposti: timo.saksa@metla.fi, leo.tervo@metla.fi, kari.kautto@metla.fi

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema.

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 20.5.2002

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto/julkaisumyynti, PL 18, 01301 Vantaa, puhelin: 09 8570 5580, sähköposti: kirjasto@metla.fi, faksi 09 8570 5582

Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Forest regeneration and slash. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 851. 41 p. ISBN 951-40-1831-1. ISSN 0358-4283.

The study was carried out to define the amount of slash remaining after recovery of logging residue, the quality of soil scarification as well as the quality of forest cultivation work in regeneration areas. In addition, soil scarification and forest regeneration works were studied in slash-removed and slash-retained plots and forest regeneration results, planting results, and natural regeneration were compared in relation to the amount of slash.

On the average, two thirds of slash could be recovered during harvesting the logging residue. The average amount of slash left in the experimental fields after recovery was 16 000 kg ha⁻¹ (dry matter). The slash amount median was reduced from 25 000 to 8 000 kg ha⁻¹ through recovery of slash. In slash-removed plots 15 - 20 % of soil surface was free of slash, whereas the corresponding free surface in slash-retained areas was 10 % on the average. Correspondingly, the coverage of slash impairing the regeneration in slash-retained areas exceeded 40 %, but could be brought down to less than 25 % through recovery of the slash.

The productivity of mounding work (spot mounding) in slash-retained areas averaged 305 mounds/effective hour, whereas the average effective output in slash-removed areas was 351 mounds per hour. Thus, the average gain in the mounding speed in slash-removed areas was 15 %. There was no difference in the percentage of mineral soil revealed during soil scarification between slash-retained and slash-removed plots.

With all soil preparation methods, the coverage of soil scarification decreased as the amount of slash increased. The negative correlation between the amount of slash and the soil scarification coverage was weakest in spot mounding (correlation -0.049, p-value 0.625) and strongest in patch scarification (correlation -0.405, p-value 0.022).

The average output of planting work in slash-retained areas was 253 and in slash-removed areas 266 seedlings/effective hour. This slight difference (5 %) is mainly explained by the longer walking distance required during planting work in a slash-retained area compared to a slash-removed area. The planting density was slightly reduced as the amount of slash increased both in spot mounding and in patch scarification but especially in disc-trenched areas. The influence of slash on the planting density seems to be due to the soil scarification quality. Almost without an exception, slash had a bigger influence on soil preparation quality than on planting density.

The field experiments established in the study showed that slash had no influence on the survival or the height growth of planted seedlings during the first growing season. In an earlier established field experiment, which was four growing seasons old, the mortality of both spruce and silver birch was highest in the sample plots with highest slash amounts. The amount of slash had no effect on the height growth of either three species during the first years.

The regeneration result obtained in regeneration areas in practice, when assessed as percentage of sapling stands fulfilling the regeneration objectives, exceeded 70 %

in planted spruce stands established in slash-removed areas, whereas the corresponding percentage in slash-retained areas was 33 %. Similarly, silver birch stands were also slightly better in slash-removed areas than in slash-retained regeneration areas. This difference was mainly due to the abundant natural seedling regeneration in the areas removed of slash.

Keywords: forest regeneration, soil scarification, planting, slash

Correspondence: Timo Saksa, Leo Tervo, Kari Kautto, The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, Juntintie 40, FIN-77600 Suonenjoki, phone: +358 17 513 811, e-mail: timo.saksa@metla.fi, leo.tervo@metla.fi, kari.kautto@metla.fi

Publisher: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station.

Available at: The Finnish Forest Research Institute, Library/Publications, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, phone: +358 9 8570 5580, e-mail: kirjasto@metla.fi, fax +358 9 8570 5582

Sisällys

Alkusanat	7
1 Johdanto	9
2 Tutkimuksen tavoite	10
3 Tutkimusaineisto ja menetelmät	10
3.1 Hakkuutähteen määrä, maanmuokkaus ja istutus	10
3.1.1 Järjestetyt kokeet	10
3.1.2 Käytännön uudistusalat	14
3.2 Taimien alkukehitys ja uudistamistulos	15
3.2.1 Järjestetyt kokeet	15
3.2.2 Käytännön uudistusalat	16
4 Tulokset ja niiden tarkastelu	17
4.1 Hakkuutähteen määrä ja sen vaihtelu	17
4.2 Maanmuokkaustyö ja muokkausjälki	21
4.3 Istutustyö ja istutustyön laatu	26
4.4 Taimien alkukehitys ja uudistamistulos	33
5 Yhteenveto	38
Kirjallisuus	39

Alkusanat

Tekesin Puuenergian teknologiaohjelmaan kuuluva tutkimushanke 'Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen' käynnistyi kesällä 1999. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää hakkuutähteen merkitys uudistamistoimenpiteisiin – maanmuokkaukseen ja istutustyöhön – sekä uudistamistulokseen. Tässä loppuraportissa esitetään keskeisimmät tutkimushankkeen tulokset. Osa tuloksista on aiemmin julkaistu Puuenergian tutkimusohjelman vuosikirjoissa.

Tutkimuksen etenemistä on valvonut hankkeen ohjausryhmä: metsänhoito- ja ympäristöpäällikkö Eero Väisänen UPM-Kymmene Oyj:stä, metsätalousinsinööri Pekka Auvinen Mikkelin kaupungista, lehtori Esko Kauppinen Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskuksesta, professori Pentti Hakkila VTT:ltä, johtaja Heikki Kotila Tekesistä sekä tutkimusaseman johtaja Heikki Smolander ja tutkija Timo Saksa Metsäntutkimuslaitokselta.

Tutkimuksen varsinaisesta toteutuksesta ovat vastanneet Timo Saksa, Leo Tervo ja Kari Kautto yhteistyössä UPM-Kymmene Oyj:n, Mikkelin kaupungin ja Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskuksen kanssa. Tutkimuksen eri vaiheissa ovat avustaneet Pia Hetekivi, Arvi Jääskeläinen, Juhani Korhonen, Aimo Nurminen, Antti Nyysönen, Urpo Paananen, Jukka Puranen, Juho Rantala ja Martti Udd sekä koneurakoitsijat: Veljekset Kananen, Eero Karhu, Esa Kokkonen, Jorma Nyysönen, Pasi Rautniemi ja Arto Salonen. Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja kommentoineet Pentti Hakkila, Pekka Auvinen ja Eero Väisänen. Parhaimmat kiitokset kaikille mukanaolleille.

Timo Saksa

Leo Tervo

Kari Kautto

I Johdanto

1990-luvun puolivälissä metsähakkeen käyttö energialähteenä oli vähäistä, noin 250 000 m³ (Hakkila ja Fredriksson 1996). Sen jälkeen metsähakkeen käyttö on kasvanut ripeästi. Viimeisimmät arviot kertovat käytön olleen vuonna 1999 750 000 m³ (Hakkila ym. 2001) ja vuonna 2000 käyttö oli 930 000 m³ (Metsäntutkimuslaitos 2002) ja vuonna 2001 jo 1 300 000 m³ (Metsäntutkimuslaitos 2002). Kansallisessa metsäohjelmassa puun energiakäytön tavoitteeksi on kirjattu 5 000 000 m³ vuoteen 2010 mennessä (Kansallinen ... 1999). Jatkossakin puun energiakäytön kasvu tulee suurelta osalta perustumaan metsähakkeen käytön lisäämiseen, joka merkitsee ainakin lähi-vuosina nimenomaan uudistushakkuualueiden hakkuutähteen lisääntyvää käyttöä.

Etelä-Suomessa kuusikon päätehakuussa syntyy hakkuutähdettä 150 - 200 kg jokaista runkopuun kuutiometriä kohtia (Hakkila ym. 1998). Keskimääräiselle avohakkuualueelle jää hehtaaria kohti 40 000 - 70 000 kiloa hakkuutähdettä kuiva-aineena. Hakkuutähteet eivät ole uudistusalueella tasaisesti vaan niiden määrä vaihtelee suuresti. Paksuimmillaan maata peittää puolimetrisen havumatto ja toisaalta 30 - 50 % pinta-alasta jää käytännöllisesti katsoen hakkuutähteistä vapaaksi. Kun hakkuutähteitä otetaan talteen päätehakuualueilta, kohdistuu korjuu kohtiin, joissa hakkuutähdettä on eniten.

Hakkuutähteen korjuun jälkeen uudistusalueella jäljelle jäävä hakkuutähte, keskimäärin 30 %, on tasaisesti uudistusalueella (Hakkila ym. 1998), mikä mahdollistaa aiempaa tasaisemman muokkauksen jäljen ja edelleen taimikon aikaansaamisen. Vanhempien tutkimusten perusteella tiedämme runsaan hakkuutähteen määrän heikentävän maan muokkauksen tehokkuutta (esim. Hämäläinen & Kaila 1987, Tynkynen 1974) ja metsänviljelytyössä hakkuutähteen on todettu vähentävän istutustyon tuottavuutta (Hakkila 1973).

Ruotsalaisten tutkimusten mukaan istutustaimien elossaolo on ollut jopa 5 - 10 % yksikköä suurempi hakkuutähteettömillä kuin hakkuutähteellisillä koealoilla (Sinclair ym. 1992, Egnell & Leijon 1996). Paremmalla elossaololla ja tilajärjestykseltään tasaisemman puuston ansioista tulevan metsikön kehityksen voidaan olettaa olevan hyvän vaikka hakkuutähteen korjuussa vietävien ravinteiden puuttumisen tiedetään hidastavan taimien pituuskasvua (Egnell & Leijon 1996). Täysin hakkuutähteettömillä koealoilla ravinteiden vähenemisen on havaittu pienentävän kuusen istutustaimien pituuskasvua, mutta ei ole vaikuttanut männyn pituuskasvuun (Rosén 1991). Taantuma, joka on vastannut keskimäärin kahden vuoden pituuskasvua, olisi ilmeisesti suureksi osaksi vältettävissä jättämällä neulas tasaisesti hakkuualueelle.

Hakkuutähteen korjuusta maan ravinnevaroihin koituvia haittoja ja hyötyjä on tarkasteltu useissa yhteyksissä viime aikoina (Kukkola & Mälkönen 1998, Hakkila ym. 1998, Jakobson ym. 1999, Nurmi & Kokko 2001). Kasvatusmetsässä harvennushakkuun yhteydessä tehtävän hakkuutähteen korjuun on todettu ainakin kuusikoissa alentavan puuston tuotosta jatkossa (Kukkola & Mälkönen 1997). Harvennushakkuussa hakkuutähteestä vapautuvat ravinteet ovat jäävän puuston käytettävissä mutta avohakkuualueelta vapautuvia ravinteita hyödyntävä puusto ensimmäisinä vuosina puuttuu.

Avohakkuualalla, erityisesti hakkuutähdeksaumista vapautuvista ravinteista (Rosén & Lundmark-Thelin 1987) osan on todettu huuhtoutuvan pinta- ja pohjavesiin (Ahtiainen 1988). Kubinin (1998) Pohjois-Pohjanmaalla tekemän tutkimuksen mukaan avohakkuun seurauksena typen mineralisaatio ja nitrifikaatio voimistuivat selvästi ja pohjaveden nitraattityypipitoisuudet nousivat 4 - 5 vuoden ajan, minkä jälkeen ne alkoivat yhtä selvästi laskea. Avohakkuun vaikutukseen verrattuna hakkuutähteen korjuun merkitys nitraattitypen huuhtoutumisessa jäi melko vähäiseksi.

2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on antaa luotettava ja yleistyskelpoinen kuva hakkuutähteen korjuun vaikutuksista maanmuokkaukseen, metsänviljelyyn, uudistamistulokseen ja taimikon alkukehitykseen.

Tutkimuksessa selvitetään hakkuutähteen korjuussa jäävän tähteen määrää, maanmuokkausjäljen laatua ja metsänviljelytyön laatua käytännön uudistusaloilla. Lisäksi tutkitaan maanmuokkaus- ja metsänviljelytyötä hakkuutähteettömillä ja hakkuutähteellisillä koealueilla sekä verrataan metsänuudistamistulosta, istutustulosta ja luontaista taimettumista suhteessa hakkuutähteen määrän.

3 Tutkimusaineisto ja menetelmät

3.1 Hakkuutähteen määrä, maanmuokkaus ja istutus

3.1.1 Järjestetyt kokeet

Tutkimuksen kokeellista osaa varten valittiin UPM-Kymmene Oyj:n, Mikkelin kaupungin ja Metsäntutkimuslaitoksen mailta kuusi puustotunnusiltaan ja maastoltaan homogeenista, kuusivaltaista päätehakkuuleimikkoa v. 2000 - 2001. Ne jaettiin hakkuutähteellisiin (ei hakkuutähteen korjuuta) ja hakkuutähteettömiin (hakkuutähdettä korjattu) lohkoihin. Hakkuukoneen kuljettaja huomioi tämän siten, että lohko, jolta hakkuutähdettä ei kerätä hakattiin 'normaalisti', mutta hakkuutähteen korjuulohkolla tähteet pyrittiin jättämään kasoihin. Leimikoiden puustotiedot perustuvat hakkuukoneen mittatietoihin (taulukko 1). Hakkuutähteen hakemäärät saatiin haketusurakoitsijoilta. Heinolan Tähtiniemen koekenttä oli kasvupaikkaluokaltaan lehtomaista kangasta ja muut tuoretta kangasta.

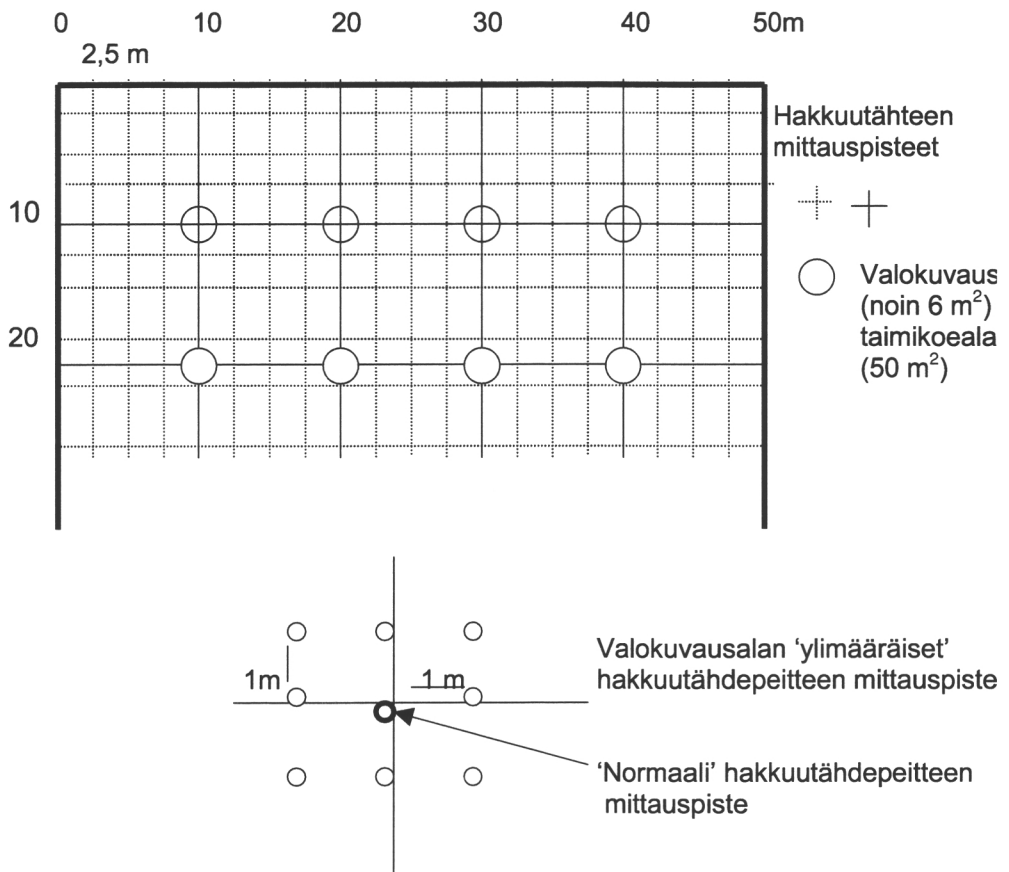
Varsinainen koeruutu, jolta hakkuutähteen määrää mitattiin, rajattiin sekä hakkuutähteellisen (= ei hakkuutähteen korjuuta) että -tähteettömän (= hakkuutähdettä korjattu) lohkon keskelle. Koeruutujen koot vaihtelivat 0,067 hehtaarista 0,25 hehtaariin.

Hakkuutähdekerroksen paksuus (cm) ja 'laatu' (ei hakkuutähteitä, löyhä, normaali, tiivis) mitattiin koeruuduilta systemaattisella verkostolla, jossa mitauspisteiden

väli oli 2,5 m (kuva 1). Mittauspisteiden lukumäärä vaihteli 100:sta 360:een koeruudun pinta-alan mukaan. Hakkuutähteen määrän selvittämiseksi punnittiin kullakin koeruudulla 5 - 10 mittauspisteestä hakkuutähteen tuorepaino (1 m² näytekoela); tavoitteena oli saada kultakin koekentältä näytekoelajoja kattavasti eri paksuisista ja laatuista hakkuutähdekerroksista. Lisäksi jokaiselta koekentältä otettiin hakkuutähdeestä kokoomanäyte, jonka avulla määritettiin hakkuutähteen kosteus.

Kokoomanäytteestä saadun kosteusarvon avulla hakkuutähteen tuorepaino muunnettiin kuivapainoksi (koekentittäin). Näytekoelajoilta saatujen hakkuutähteen kuivapainon ja hakkuutähdekerroksen paksuuden välisen regressiomallin (laatuoluokittain) avulla yleistettiin hakkuutähteen kuivapainot kaikkiin mittauspisteisiin (kuva 2).

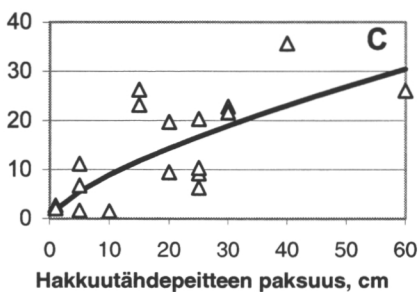
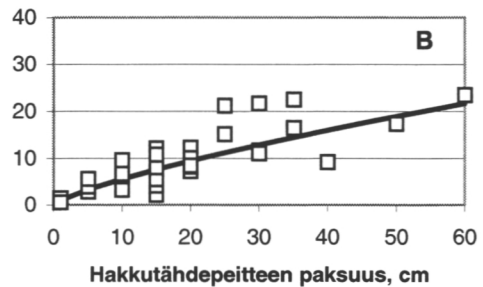
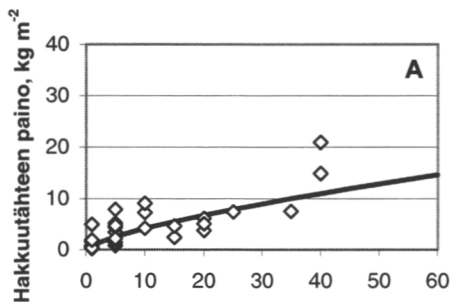
Maanmuokkaukset tehtiin kesän ja syksyn 2000 aikana Mikkelin, Suonenjoen ja Jämsänkosken sekä keväällä 2001 Heinolan ja Pieksämäen mlk:n Kurkon koelueilla. Kurkon koelueella muokkausmenetelminä olivat laikkumätästys ja äestys. Pieksämäen mlk:n Pöyhölänkaan maanmuokkaukset ja istutukset tehtiin syksyllä 2001. Täällä uudistamismenetelminä olivat laikkumätästys ja käsinistutus sekä koneistutus. Muokkaukset tehtiin maanomistajien (Mikkelin kaupunki ja UPM-Kymmene Oyj)



Kuva 1. Kaaviokuva mittausjärjestelyistä kenttäkokeen koeruudulla.

Taulukko 1. Koekentiltä korjatut ainespuu- ja hakkuutähdehakemäärät, sekä ainespuukuutiometriä kohti lasketut hakemäärät. Heinolan Tähtiniemen koekentän puustotietoja ei ollut käytettävissä ja Pöyhölänkankaan koekentän hakkuutähteitä ei ole vielä hakettu.

Koekenttä	Puusto, m ³ ha ⁻¹				Hakkuutähdehake	
	Kuusi	Mänty	Koivu	Yht.	i-m ³ ha ⁻¹	i-m ³ m ⁻³
Mikkeli, Pitkäniemi	218	38	1	257	146	0,57
Suonenjoki, Heinäselkä	324	19	9	352	200	0,57
Jämsänkoski, Salmijärvi	349	21	3	373	202	0,54
Pieksämäen mlk., Kurkko	258	6	4	268	209	0,71
Pieksämäen mlk., Pöyhölänk.	158	91	14	263	-	-



Kuva 2. Hakkuutähdepiteen paksuuden ja hakkuutähteen kuiva-ainepainon väliset regressiokäyrät laatuluokittain. A = 'löyhä' ($Y = 0.81 x^{0.71}$, $R^2 = 0.634$, $n = 29$, $F = 50.16$, $p < 0.001$), B = 'normaali' ($Y = 0.99 x^{0.75}$, $R^2 = 0.834$, $n = 37$, $F = 185.7$, $p < 0.001$), C = 'tiivis' hakkuutähdepitee ($Y = 1.85 x^{0.68}$, $R^2 = 0.536$, $n = 18$, $F = 20.81$, $p < 0.001$).

ohjeiden mukaisesti. Seuraavassa lyhyt kuvaus koekentittäin tehdyistä muokkaus- ja istutustöistä:

Mikkeli, Pitkäniemi. Koealue muokattiin 19.7.2000 tavallisella ojakaualalla varustetulla tela-alustaisella Halla HE 130 LCE kaivukoneella. Työmenetelmänä oli kauhaista tai koota sopiva määrä maata ja kääntää mätäs ylösalaisin takaisin kaivettuun kuoppaan (kääntömätästys). Mättäitä ei tiivistetty. Koealat: 2 kpl 40 m x 40 m ja 2 kpl 26 m x 26m. Alue istutettiin 15.5.2001.

Suonenjoki, Heinäselkä. Koealue muokattiin 29.8.2000 urakoitsija Eero Karhun kehittämällä mätästyslaitteella. Peruskone oli tela-alustainen kaivukone Da-

ewoo 130 LC-W Solar XT. Mätäs muodostettiin ja tiivistettiin muokkauslaitteen hydraulisesti käännettävän teräslevyn avulla. Levyn korkeus oli 80 cm, leveys 70 cm ja kaarevuus 10 cm. Koealat: 2 kpl 40 m x 60 m. Alue istutettiin 18.5.2001.

Jämsänkoski, Salmijärvi. Koealue muokattiin 28.9.2000 65 cm:n levyisellä kuokkakauhalla. Peruskoneena oli tela-alustainen Samsung 130 LC kaivukone. Työmenetelmänä oli kaivaa ja kasata riittävästi maata mättään tekoa varten. Yleensä mätäs käännettiin ylösalaisin takaisin kaivettuun kuoppaan. Maa oli melko kivistä, mikä vaikeutti työtä ja työjälki muistutti enemmän kaivurilaukusta kuin mätästystä. Koealat: 2 kpl 50 m x 50 m. Alue istutettiin 14.5.2001.

Pieksämäen mlk., Kurkko. Koealue muokattiin 10.5.2001 urakoitsija Eero Karhun mätästyslaitteella. Laitteen käännettävää teräslevyä oli kavennettu 60 cm:iin ja kaarevuutta lisätty 16 cm:iin. Kaventaminen on parantanut laitteen käyttöominaisuuksia kivikkoisissa maastoissa ja levyn kaarevuuden lisäys tehostaa mättään muodostumista ja estää mättäiden liikatiivistymisen. Peruskone oli sama kuin Heinäselän koealueella syksyllä 2000, Daewoo 130 LC-W Solar XT. Koealat: 2 kpl 40 m x 60 m. Alue istutettiin 16.5.2001.

Kurkon koealueesta osa äestettiin 10.5.2001 TTS Delta II:lla. Peruskoneena oli etutelillä varustettu Valmet 860 kuormatraktori. Hakkuutähteettömällä alueella äkeen nostatus oli 1 (asteikko 1-10) ja pyöritys 7 (asteikko 1-10). Hakkuutähteellisellä osalla painatus oli vapaa ja pyöritys 6-7. Koealat: (hakkuutähteellinen) 70 m x 30 m ja (hakkuutähteetön) 60 m x 30 m. Alue istutettiin 17.5.2001.

Heinola, Tähtiniemi. Koealue muokattiin 24.4.2001 mätästyslaitteella. Peruskoneena oli tela-alustainen Hyundai 130 CCM-3 kaivukone, joka oli varustettu Hyundai 180 LCM:n telastolla ja metsävarusteilla. Muokkaus tehtiin 60 cm leveällä kaapeliojakauhalla, jonka mätästysominaisuuksia urakoitsija oli parantanut rakentamalla kauhauksen sivuille 10 cm:n levennykset. Ne parantavat kauhaisuvaiheessa kunnakerroksen leikkautumista estäen erityisesti paksukunttaisilla mailla mättään repeytymisen tai halkeamisen keskeltä. Kaikki mättäät tiivistettiin systemaattisesti. Koealoja oli 9 kpl (40 m x 40 m), joista kolmessa hakkuutähteet korjattiin hakkuun jälkeen vihreinä, kolmessa ne olivat kesän yli ja korjattiin ruskeina sekä kolmessa hakkuutähteitä ei korjattu lainkaan.

Pieksämäen mlk., Pöyhölänkangas. Koealue mätästettiin 4.9.2001 samalla koneella kuin Kurkon koealue. Tällä koealueella oli käsin istutuksen vertailuna automaattisyötöllä varustettu Bräcke istutuskone (valokuva kannessa). Peruskoneena oli tela-alustainen Kobelco SK 160 LC kaivukone. Bräcke-istutuskoneen ja syöttölaitteen kokonaispaino on n. 1200 kg. Istutuslaite koostuu hydraulitoimisesta mätästyslevystä ja pottiputkesta. Mätästyslevyn keskellä on reikä, jonka läpi taimi istutetaan ja tiivistetään paikalleen. Taimet syötetään automaattisesti kasvatuslaatikosta pottiputkeen. Syöttölaitteeseen mahtuu kerrallaan kolme taimilaatikkoa, jolloin Plantek F 81 kennostoilla taimimäärä on 243 tainta. Koealat: hakkuutähteelliset 20 m x 45 m ja 20 m x 55 m sekä hakkuutähteettömät 20 m x 55 m ja 20 m x 65 m. Alue istutettiin 11.-12.9.2001.

Muokkauksen sekä käsin- että koneistutuksen työntutkimus tehtiin videoimalla. Kuvattujen alueiden pinta-alat mitattiin. Työntutkimuksessa muokkausalat olivat edellä mainittuja koealoja suuremmat. Videoaineiston avulla selvitettiin muokkauksen työvaihejakaumat, määttäiden lukumäärät ja tuotokset. Työvaihejakauaman määrittämisessä havaintovälinä oli 15 sekuntia. Mätästyksessä työvaiheet olivat: koneen siirtyminen, hakkuutähteen siirto, mätästys (puomin siirto ja varsinainen mättään teko) ja mättään tiivistys. Käsinistutuksen työvaiheet koostuivat taimien irroituslevyllä kennostosta), siirtymisestä, istutuksesta ja taimien hausta.

Koealueet istutettiin syväistutukseen soveltuvalla pottiptukella; nro 5 (49 mm) malli DP. Sekä käsin- että koneistuttaja olivat työhön tottuneita. Käsinistutusalueilla aikatutkimuksen yhteydessä piirrettiin istutuspaikoista kartta, jonka avulla määritettiin istuttajan kulkema matka. Piirros digitoitiin ja siitä määritettiin istutustaimien koordinaatit senttimetrin tarkkuudella. Taimien tilajärjestystä kuvattiin Coxin (1971) kehittämällä menetelmällä, jossa ryhmittäisyysindeksi (I_c) laskettiin sadan satunnaispisteen ja lähimmän taimen etäisyyden avulla (ks. Pohtila 1977).

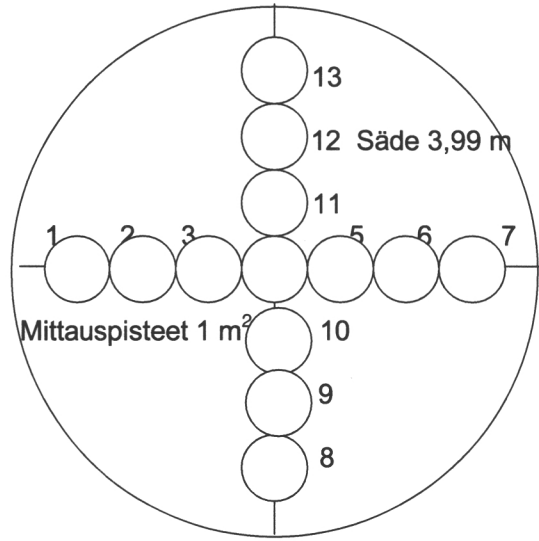
Alueet istutettiin kuuselle (1v) ja paakkutyypiksi oli PL 81 F (paakun tilavuus 85 cm³, kasvatustiheys 546 tainta/m² ja 81 kpl/yksikkö). Siementen alkuperä oli Sv 177 ja syysistutuksissa Sv 113.

Maanmuokkausjäljen laadun arvioimiseksi kehitettiin valokuvaukseen pohjautuva menetelmä. Jokaiselta ruudulta valokuvattiin ennen muokkausta ja muokkauksen jälkeen 4 - 16 koealaa. Valokuvauspisteet sijoitettiin systemaattisesti tasavälein hakkuutähdepiteen mittausverkoston mukaisesti (ks. kuva 1). Kuvat otettiin kohtisuoraan alaspäin tangon päähän asennetulla kinofilmikameralla. Kaukolaukaistava kamera oli telineessä, joka piti sen aina vaakatasossa. Kuvauskorkeus oli 3 m kamerasta maanpinnan tasoon ja se vakioitiin luotilangalla. Näin saadut diakuvat skannattiin valokuvaamossa bittikarttakuviksi, joiden koko oli 3072 x 2048 pikseliä. Colan - kuvankäsittelyohjelmalla (ColorSoft Oy) ja kuvaan sijoitetun kalibrintimitan avulla kuva-alueen kooksi määräytyi 9,2 m². Tämän jälkeen suorakaiteen muotoiset kuvat rajattiin neliöiksi ja laskelmissa käytetyksi pinta-alaksi tuli 6,12 m². Ohjelman avulla kuvista määritettiin manuaalisesti hakkuutähteen, kantojen ja kivien peittävyys, sekä muokkausalan osuus.

Kullekin koeruudulle perustettiin taimien alkukehityksen seuranta varten pysyvät koealat em. valokuvauspisteisiin. Ympyräkoalan koko oli 50 m². Istutustaimet kartoitettiin koealan keskipisteestä mitatun etäisyyden ja suunnan avulla. Istutustaimista määritettiin istutuskohdan laatu (alustan laatu, istutuspaikan korkeusasema ja kosteusolot), taimien istutussyvyys ja kunto sekä mitattiin taimen pituus ja istutusvuoden pituuskasvu. Lisäksi mitattiin taimen etäisyys humuksesta ja tarkastettiin kärsäkkäiden aiheuttamat vauriot.

3.1.2 Käytännön uudistusalat

Hakkuutähteen määrää ja sen vaihtelua kartoitettiin inventoimalla 15 käytännön hakkuutähteen korjuukohdetta. Hakkuutähteen määrä mitattiin istutustyön jälkeen samana kasvukautena (kesällä 2000). Samalla tarkasteltiin muokkausjäljen ja istutustyön laatua. Uudistusalat sijaittivat Mikkelin ja Jämsän ympäristössä.



Kuva 3. Hakkuutähdepeitteen ja muokkausjäljen peittävyysmittauspisteiden sijoittaminen inventointikoealalle ja mittauspisteiden numerointi.

Uudistusalueelle sijoitettiin systemaattisesti 20 ympyräkoealaa (a' 50 m²) istutustaimien inventointia varten. Hakkuutähdepeitteen määrän vaihtelun kuvaamiseksi mitattiin hakkuutähdekerroksen paksuus ja määritettiin kerroksen 'laatu' (ei hakkuutähdeitä, löyhä, normaali, tiivis) 13 systemaattisesti määritetystä pisteestä kullakin ympyräkoealalta (kuva 3). Hakkuutähdepeitteen kuivapaino laskettiin hakkuutähdekerroksen korkeuden perusteella kenttäkokeilta laskettuja regressiomallien avulla laatuluokittain (kuva 2). Koekentiltä ja näiltä käytännön uudistusaloilta mitatut hakkuutähdemäärät ovat vertailukelpoisia, jos oletamme hakkuutähdekerroksen paksuuden pysyneen hakkuun jälkeen likimain ennallaan.

Muokkausjäljen laatu arvioitiin muokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuuden avulla em. 13 hakkuutähdekerroksen mittauskoealalta (1 m²). Istutustaimista määritettiin istutuskohdan laatu (alustan laatu ja korkeusasema) sekä istutustyön laatua (ei huomautettavaa, taimi liian ylhäällä, taimi liian syvässä ja taimi kallellaan). Lisäksi mitattiin taimien pituus, istutusvuoden pituuskasvu ja taimen etäisyys huomuksesta sekä määritettiin mahdolliset tuhot (erikseen kärsäkkäiden, lähinnä tukkimiehentäin aiheuttamat vauriot).

3.2 Taimien alkukehitys ja uudistamistulos

3.2.1 Järjestetyt kokeet

Tutkimuksessa perustetuilla kenttäkokeilla (ks. 3.1.1) mitattiin istutustaimien pituuskasvu ensimmäisen kasvukauden päättyessä. Samalla kirjattiin taimia kohdanneet tuhot ja erityisesti kiinnitettiin huomiota kärsäkkäiden aiheuttamiin vaurioihin.

Taimien alkukehitystä seurattiin Saarijärvelle keväällä 1998 perustetulla kenttäkokeella (Oijala ym. 1999). Koekentällä oli korjattu hakkuutähdettä eri menetelmillä (neljä eri korjuumenetelmää; viisi eri lohkoa). Sen lisäksi hakkuutähdettä oli kasattu osalle ruutuja, jotta saataisiin mahdollisimman suuri vaihtelu hakkuutähteen määrään. Taimien alkukehityksen seurannassa ympyräkoean (50 m²) hakkuutähdemääränä käytettiin kuuden mittauspisteen painotettua keskiarvoa. Koealan keskipistettä lähimmän mittauspisteen arvo sai kaksinkertaisen painon verrattuna muihin viiteen havaintoon. Tällä koekentällä seurattiin taimien pituuskehitystä ja tuhoja syksyllä 2000 ja 2001 tehdyin seurantamittauksin sekä inventoitiin luontaisesti syntyneiden taimien määrä syksyllä 2001 (3 vuotta muokkauksesta).

3.2.2 Käytännön uudistusalat

Käytännön uudistamistulosta selvittävä aineisto kerättiin 4 - 6 vuotta vanhoilta istutusaloilta Etelä-Savosta (Mikkelin seutu), missä hakkuutähteen käyttö energiantuotannossa oli vauhdittunut jo 1990 -luvun alussa (Saksa & Auvinen 1996). Tutkimuskohteeksi valittiin uudistusaloja, joilta hakkuutähdettä oli korjattu ennen maanmuokkausta sekä aloja, joilta hakkuutähdettä ei oltu korjattu. Mitatut kohteet sijaitsivat Mikkelin kaupungin mailla sekä yksityismailla, joista osa oli UPM-Kymmene Oyj:n hoitosopimustiloja. Hakkuutähteen korjuukohteita etsittäessä valittiin, jos mahdollista, samalla tilalla oleva saman ikäinen hakkuutähteellinen uudistamis-kohte. Hakkuutähteellisten kohteiden määrä täydennettiin pienellä otannalla metsänhoitoyhdistyksen rekistereistä. Hakkuutähteelliset kohteet painottuivat hieman hakkuutähteen korjuukohteita enemmän yksityismaille. Maanmuokkausmenetelmänä oli käytetty lähes yksinomaan äestystä.

Kaikkiaan syksyn 1999 aikana mitattiin 50 uudistusalaa. Näistä 22:lla kohteella hakkuutähdettä ei oltu kerätty lainkaan tai hakkuutähteen korjuu oli ollut niin vähäistä, että hakkuutähteen korjuusta vastannut metsätyönjohtaja arvioi, ettei uudistusala poikennut hakkuutähteellisistä kohteista. Vastaavasti 28 kohteessa hakkuutähteen korjuu oli onnistunut tavanomaisesti. Kasvupaikaltaan kohteet olivat pääasiassa tuoreen kankaan uudistusaloja, mutta osaan uudistusaloista sisältyi myös lehtomaista ja kuivahkoa kangasta käsittäviä osia. Istutuspuulajina oli käytetty kuusta, rauduskoi-vua, mäntyä ja lehtikuusta. Usealla kohteella viljelyssä oli käytetty kahta tai useampaa puulajia (taulukko 2).

Maanmuokkausjäljen arvioinnissa ja uudistamistuloksen mittauksessa käytettiin systemaattista linjoittaista ympyräkoelaotantaa. Koealan koko oli 20 m², jolloin kukin taimi vastasi 500 tainta hehtaarilla. Linja/koealaväli valittiin siten, että jokaisesta taimikosta mitattiin noin 20 koealaa.

Uudistusalalla kasvupaikkaryhmä (kangas/suo) ja metsätyyppi lisämääreineen määritettiin kunkin inventointikoealan edustamalta alalta. Ympyräkoelalta arvioitiin hakkuutähteen aiheuttamaa haittaa sekä maanmuokkauksen peittävyyttä. Hakkuutähteen aiheuttaman haitan arvio perustui siihen missä määrin se oli heikentänyt optimaalista muokkausjälkeä koealalla. Maanmuokkauksen peittävyys ilmaistiin muokatun maanpinnan osuutena. Koealalla olleista kaikista viljellyistä taimista ja

Taulukko 2. Yleistietoja tarkastetuista käytännön, 4-6 vuotiaista uudistusaloista ja niille sijoitetuista inventointikoealoista.

Hakkuutähteen korjuuaste	Uudistus-aloja	Viljelyvuosi			Mänty	Istutuspuulaji		
		-95	-96	-97		Kuusi	Raudus-Lehtikoivu	Lehti-kuusi
Ei lainkaan korjuuta	16	8	4	4	1	8	7	-
Saanto heikko	6	-	5	1	2	3	1	-
Ei hakkuutähteen korjuuta	22	8	9	5	3	11	8	-
Saanto normaali	23	7	10	6	5	10	7	1
Saanto hyvä	5	-	2	3	1	1	3	-
Hakkuutähdettä korjattu	28	7	12	9	6	11	10	1

Hakkuutähteen korjuuaste	Inventointikoealoja	Koealojen kasvupaikkajakauma, %				
		Lehto	Lehtom. kangas	Tuore kangas	Kuivahko kangas	Kuiva kangas
Ei lainkaan korjuuta	321	0,3	22,1	70,4	7,2	0,0
Saanto heikko	122	0,0	4,9	77,1	18,0	0,0
Ei hakkuutähteen korjuuta	443	0,2	17,4	72,2	10,2	0,0
Saanto normaali	457	1,1	9,2	69,6	19,9	0,2
Saanto hyvä	98	0,0	10,2	66,3	23,5	0,0
Hakkuutähdettä korjattu	555	0,9	9,4	69,0	20,5	0,2

luontaisista kasvatuskelpoisista taimista mitattiin pituus ja kaksi viimeistä pituuskasvua. Kasvatuskelpoisiksi luokiteltiin vähintään 50 cm:n päässä toisistaan olevat taimet ja lisäksi niiden piti olla pituussuhteiltaan, terveydentilaltaan ja ulkoiselta laadultaan kelpoisia. Luontaisen siemensyntyisen männyn, kuusen, raudus- ja hieskoivun taimet (pituus >10 cm) laskettiin puulajeittain.

4 Tulokset ja niiden tarkastelu

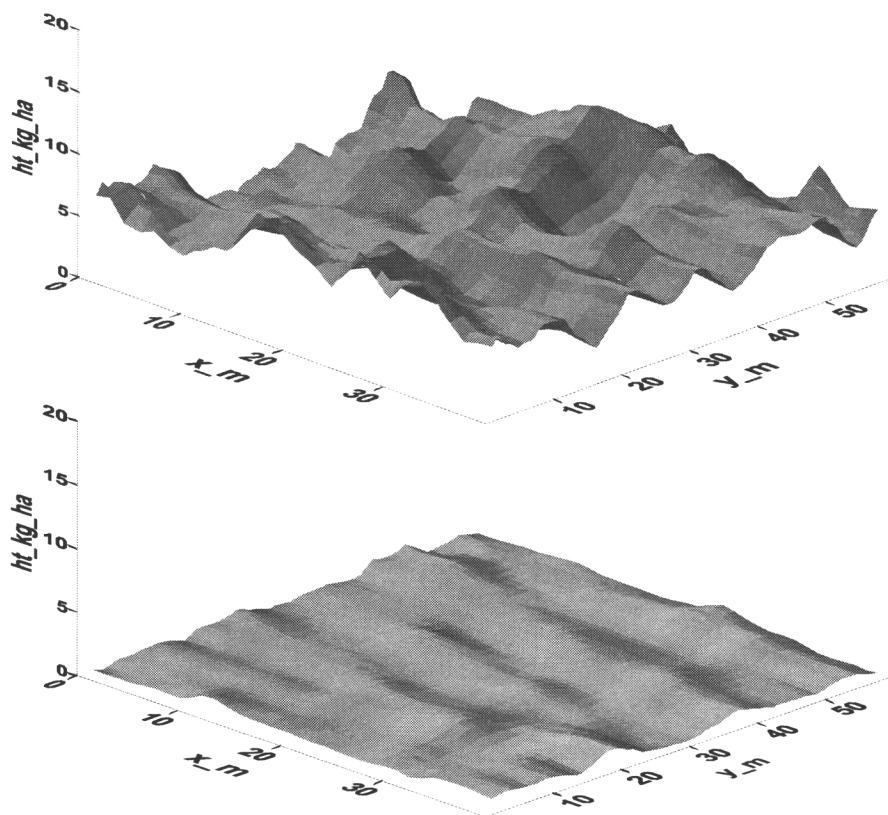
4.1 Hakkuutähteen määrä ja sen vaihtelu

Koeruuduilla, joilta hakkuutähdettä ei korjattu, oli hakkuutähdettä kuiva-aineena mitattuna keskimäärin yli 40 000 kg hehtaarilla (mediaani eli frekvenssijakauman keskimäinen arvo 25 300 kg ha⁻¹, taulukko 3). Suurimmat mittauspisteissä havaitut hakkuutähdemäärät vaihtelivat koekentittäin 210 000 - 365 000 kg ha⁻¹ ja keskimäärin kolmasosalla pinta-alasta hakkuutähdettä oli yli 50 000 kg ha⁻¹ (kuva 5).

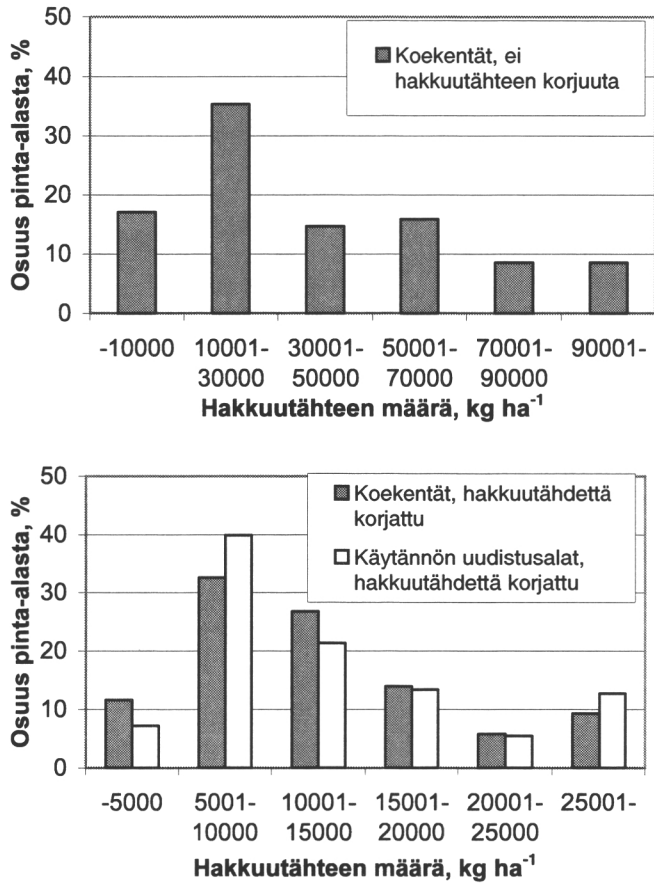
Hakkuutähteen määräksi korjattua runkokuun kuutiometriä (315 m³/ha) kohti täs-

Taulukko 3. Hakkuutähteen määrä (keskiarvo, mediaani ja suurin arvo, kg ha⁻¹ kuiva-ainetta) hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömillä ruuduilla koekentittäin (n = mittauspisteiden lukumäärä, a' l m²) sekä hakkuutähteen korjuussa koekentälle jääneen hakkuutähteen suhteellinen osuus (%). Heinolan Tähtiniemen koekentällä ei mitattu hakkuutähteen määrää..

	Ei hakkuutähteen korjuuta				Hakkuutähdettä korjattu				%
	n	keski-arvo	mediaani	suurin arvo	n	keski-arvo	mediaani	suurin arvo	
Mikkeli, Pitkäniemi	325	36 300	9 900	338 000	325	12 600	8 100	210 000	35
Suonenjoki, Heinäselkä	345	52 400	33 300	210 000	344	9 600	8 100	56 000	18
Jämsänkoski, Salmijärvi	361	26 100	9 900	230 000	361	10 700	8 100	89 000	41
Pieksämäen mlk., Kurkko	345	49 100	25 300	365 000	345	22 800	9 900	144 000	46
Pieksämäen mlk., Pöyhölänk.	532	41 500	25 300	268 000	643	19 500	8 100	128 000	47
Keskimäärin koekentät		41 000	25 300	282 200		15 800	8 100	125 400	38



Kuva 4. Hakkuutähdemäärän spatiaalinen vaihtelu Suonenjoen Heinäselän koekentällä (hakkuutähdettä kg m⁻² y-akselina). Alempi kuva hakkuutähteen korjuuruudulta ja ylempi hakkuutähteelliseltä ruudulta. Kuva perustuu 345 mitatun havainnon (2,5m x 2,5m) avulla tehtyyn tasoitukseen.



Kuva 5. Hakkuutähteen määrän havaintojakauma (kuiva-ainetta, kg ha⁻¹) tutkimuksen koekentillä sekä käytännön uudistusaloilla, joilta hakkuutähdettä on korjattu. Huomaa erilainen skaalaus x-akselilla!

tä saadaan vajaat 150 kg. Hakkilan (1991) mukaan hakkuutähteen määrä runkokuun kuutiometriä kohti on Etelä-Suomessa kuusella reilut 170 kg. Kun tutkimuksessa perustettujen koekenttien sekapuustoisuus (ks. taulukko 1) otetaan huomioon vastaavat koekenttien hakkuutähdemäärät melko hyvin keskimääräisiä olosuhteita Etelä-Suomessa.

Tavallisesti oksat ja latvukset jätetään hakkuukoneen kulku-uralle. Tästä johtuvaa systemaattisuutta oli nähtävissä tarkasteltaessa hakkuutähdekerroksesta tehtyjä kolmiulotteisia havainnekuvia (kuva 4). Hakkuutähteiden keruuta varten oksat ja muu tähte pyritään kasaamaan hakkuukoneen kulku-uran varrelle. Nämä kasat ovat jossain määrin havaittavissa vielä hakkuutähteen korjuun jälkeen tehdystä 'kartoituksesta'.

Hakkuutähteen korjuussa saatiin keskimäärin lähes kaksi kolmasosaa hakkuutähteestä talteen (taulukko 3), mikä vastaa aiemmin tehtyjä arvioita hakkuutähteen korjuusteesta (Hakkila ym. 1998, Oijala ym. 1999) sekä eri ohjeistoissa esitettyjä

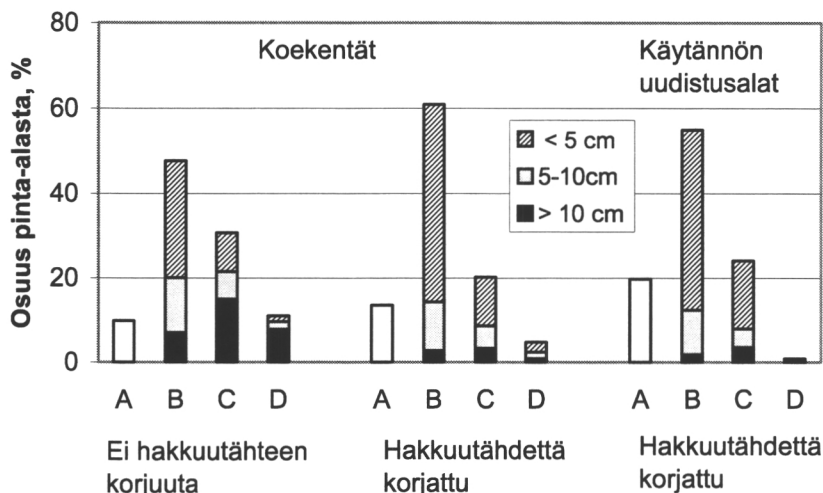
tavoitetasoa (Polttihakkeen ... 2000, Koneyrittäjien hakkuu ... 2002). Korjuun jälkeä jäi koekentillä keskimäärin 16 000 kg ha⁻¹ hakkuutähdettä. Hakkuutähdemäärän mediaani aleni hakkuutähteen korjuussa 25 000:sta 8 000:teen kg ha⁻¹, mikä osoittaa korjuun kohdistuneen sinne, missä hakkuutähdettä on ollut runsaasti. Hakkuutähteen korjuun myötä yli 25 000 kg ha⁻¹ hakkuutähdettä sisältäneiden havaintojen osuus laski 50 %:sta 10 %:iin (kuva 5).

Käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla jäi hakkuutähteen määrä hieman koekenttiä pienemmäksi, keskimäärin 14 500 kg ha⁻¹ (mediaani 10 400 kg ha⁻¹, taulukko 4). Lähes joka kolmannella uudistusallalla hakkuutähteen määrä oli alle 10 000 kg ha⁻¹ ja joka toisessa kohteessa yli 15 000 kg ha⁻¹. Hakkuutähteen määrän jakauma oli käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla hyvin samankaltainen kuin tutkimuksen koekentillä (kuva 5).

Kun hakkuutähdettä otetaan talteen päätehakkuualoilta, kohdistuu korjuu kohtiin, joissa hakkuutähdekerros on paksuin. Koekentillä hakkuutähteistä vapaata maanpintaa oli hakkuutähteen korjuun jälkeen 4 %-yksikköä enemmän (keskimäärin 14 %) kuin hakkuutähteellisillä koeruuduilla (keskimäärin 10 %, kuva 6). Käytännön uudistusaloilla hakkuutähteettömän maanpinnan osuudeksi arvioitiin lähes 20 %. Vastaavasti uudistamista haittaavaan hakkuutähdepeitteen (luokat normaali ja tiivis) osuus oli hakkuutähteellisillä ruuduilla yli 40 % kun sen osuus hakkuutähteen korjuun jälkeen jäi alle 25 %:in.

Taulukko 4. Hakkuutähteen määrä (keskiarvo, mediaani ja suurin havaintoarvo, kg ha⁻¹ kuivaainetta). Havaintoarvoina käytetty inventointikoelaloilta (n) mitattujen 13 havaintopisteen (ks. kuva 3) keskiarvoa.

Uudistusala	Hakkuutähteen määrä, kg ha ⁻¹			
	n	keskiarvo	mediaani	suurin arvo
1	16	10 300	10 200	18 900
2	20	18 200	15 500	50 600
3	20	17 500	16 500	32 700
4	20	17 100	13 500	40 700
5	19	25 900	22 500	89 700
6	20	11 300	10 800	21 100
7	19	10 200	8 800	26 800
8	20	8 100	7 900	17 100
9	17	7 800	7 400	14 600
10	20	9 300	7 900	39 900
11	20	17 700	12 500	49 400
12	20	20 000	17 300	56 000
13	20	16 800	12 600	52 700
14	20	7 300	7 000	11 700
15	20	19 100	12 800	85 000
Keskimäärin		14 500	10 400	40 500



Kuva 6. Hakkuutähdepiteen laatu hakkuutähdeellisillä ja hakkuutähdeettömillä koeruuduilla. Pylväissä B – D eri rasterit kuvaavat hakkuutähdekerroksen paksuutta. A = ei hakkuutähdekorjuuta, B = löyhä hakkuutähdekerros, C = normaali hakkuutähdekerros ja D = tiivis hakkuutähdekerros.

Hakkuutähdeellisillä koeruuduilla hakkuutähdekerros oli paksuimmillaan 80 cm ja 30 %:lla pinta-alasta sen paksuus oli vähintään 10 cm (kuva 6). Hakkuutähdekorjuun jälkeen 10 cm tai paksumpi hakkuutähdekerros löytyi 7 %:lla pinta-alasta. Tilanne oli vastaava myös käytännön hakkuutähdekorjuukohteilla. Tutkimuksen koekenttien ja käytännön hakkuutähdekorjuukohteiden voidaan katsoa niin hakkuutähde määrän kuin sen vaihtelunkin osalta olevan hyvin samankaltaisia.

4.2 Maanmuokkaustyö ja muokkausjälki

Hakkuutähdeellisten alueiden mätästystyön tuottavuus oli keskimäärin 305 mätästä/tehotunti. Hakkuutähdeettömillä alueilla päästiin keskimäärin 351 mätään tehotuntituotokseen (taulukko 5). Hakkuutähdeettömillä alueilla mätästys oli keskimäärin noin 15 % nopeampaa (ero tilastollisesti suuntaa antava, p-arvo < 0,10). Poikkeuksena oli Mikkelin koekenttä, jossa mätästyksessä ei ollut eroja hakkuutähdeellisen ja hakkuutähdeettömän alueen välillä.

Kaikilla koealueilla mättäiden määrä hehtaarilla oli molemmissa käsittelyissä (hakkuutähdeellinen/hakkuutähdeettömä) samaa suuruusluokkaa (1 555 mätästä ha⁻¹ ja 1 547 mätästä ha⁻¹). Muokkaustyön laadussa ei ollut hakkuutähdeellisten ja hakkuutähdeettömien alueiden välillä tilastollisesti merkitsevää eroa.

Mikkelissä mätästystä tehtiin hakkuutähdeettömällä alueella myös siten, että mätäs tiivistettiin. Tiivistämisen osuus työajasta oli 15,5 %. Ilman tiivistystä tuotos oli 252 mätästä/tehotunti ja tiivistettynä 202 mätästä/tehotunti.

Suonenjoen Heinäselän sekä Pieksämäen mlk:n Kurkon ja Pöyhölänkankaan alueet laikkumätästettiin samalla koneella ja Pieksämäen mlk:n koekentillä myös kul-

Taulukko 5. Muokkauksen tehotuntituotokset ja mättäiden lukumäärä hehtaarilla sekä keskiarvojen erojen testaus varianssianalyysillä. A = ei hakkuutähteen korjuuta, B = hakkuutähtettä korjattu.

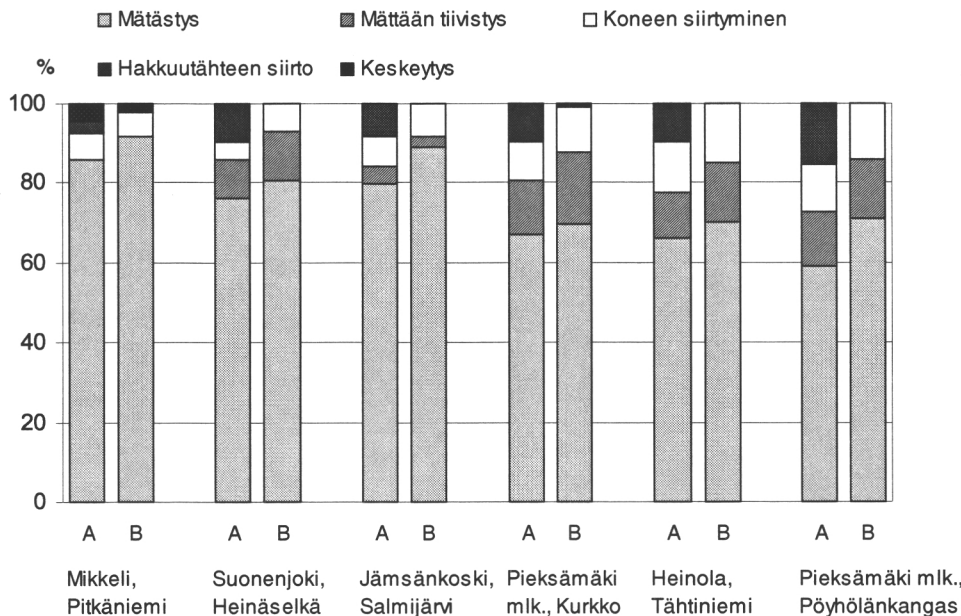
Koekenttä	Mättäitä / tehotunti		Mättäitä / hehtaari	
	A	B	A	B
Mikkeli, Pitkäniemi ⁽¹⁾	255	252	1509	1558
Suonenjoki, Heinäselkä ⁽²⁾	280	353	2003	2021
Jämsänkoski, Salmijärvi ⁽³⁾	353	389	1470	1419
Pieksämäen mlk., Kurkko ⁽²⁾	326	371	1661	1602
Heinola, Tähtiniemi ⁽²⁾	321	392	1388	1354
Pieksämäen mlk., Pöyhölänkangas ⁽²⁾	293	351	1314	1332
Keskiarvo	304	351	1558	1548
Keskihajonta	35	52	248	256
F-arvo		3,334		0,005
p-arvo		0,098		0,947

- 1) Kääntömätästys
- 2) Laikkumätästys
- 3) Kaivurilaikutus (mättäitä / istutuslaikkuja)

jettaja oli sama. Alueet olivat maastollisesti samankaltaisia. Näiden alueiden hakkuutähteellisten ruutujen mätästystyön tuottavuus oli keskimäärin 300 mätästä/tehotunti ja hakkuutähteettömien 358 mätästä/tehotunti. Tuottavuuden ero oli lähes 20 % hakkuutähteettömän eduksi.

Työajan jakaumatulosten mukaan hakkuutähteiden siirron osuus oli 3,3 - 15,5 % (kuva 7). Tämä selittää osan tuotoksien eroista. Kuljettajan kannalta työ on hakkuutähteettömällä alueella selkeämpää kuin hakkuutähteellisellä, koska siirtyminen ja istutuspaikkojen valinta ja työ helpottuu. Hakkuutähteiden alla saattaa olla työtä haittaavia kantoja ja kiviä. Usein mättään paikka pystytään valitsemaan vasta hakkuutähteiden siirtämisen jälkeen. Koneen siirtymistyövaiheen osuus vaihteli 4,5 - 13,8 %:iin kokonaistehoajasta. Siirtymisen osuus oli pienin Suonenjoella olevalla hakkuutähteellisellä koalueella.

Pieksämäen mlk:n Kurkon alueesta osa äestettiin. Äestystyön tuotos oli hakkuutähteellisellä alueella 1,15 ha/tehotunti ja hakkuutähteettömällä 0,92 ha/tehotunti. Äestyksessä hakkuutähteellisellä alueella peruuttamisen ja käännösten osuus oli 15,8 % ja hakkuutähteettömällä 26,7 % kokonaistehoajasta. Muu osuus työajasta oli äestystä, hakkuutähteellisellä 84,2 % ja hakkuutähteettömällä 73,3 %. Hakkuutähteettömän alueen huonompi tulos selittyy peruutusten ja käännösten suuremmalla osuudella, johon oli syynä mm. alueen muoto ja jättöpuuryhmä. Koneen kuljettajan mukaan hakkuutähteet eivät juurikaan vaikuta ajonopeuteen. Kuitenkin pyrittäessä laadukkaaseen lopputulokseen ajonopeus on hieman alhaisempi hakkuutähteellisellä alueella kuin hakkuutähteettömällä. Muokkaustyön laatuun vaikuttavat kuljettajan



Kuva 7. Muokkaustyön työvaihejakauma. A = ei hakkuutähteen korjuuta, B = hakkuutähdettä korjattu.

huolellisuuden ja ammattitaidon lisäksi äestyskoneen säädöt; lautaskulmat, painatuksen voimakkuus ja pyörittynopeus.

Aikaisempien metsänviljelytutkimusten perusteella runsas hakkuutähdemäärä heikentää maan muokkauksen tehokkuutta (esim. Hämäläinen & Kaila 1987, Tynkkynen 1974). Laikutuksen ja mätästykseen työljäljessä hakkuutähteen aiheuttama haitta ei yleensä näy yhtä selvästi kuin äestyskoneessa. Nykyisten hydraulipainotteisten äkeiden työljälkeen hakkuutähteen haittava vaikutus on huomattavasti vähäisempi kuin mekaanisten äkeiden. Sekä laikutuksessa että mätästyskoneessa hakkuutähteet aiheuttavat ylimääräisiä työvaiheita alentaen muokkaustyön tuottavuutta. Erityisesti laikkumätästyskoneessa hakkuutähteet pitää poistaa mättään alta (Metsäteho 2000).

Maanpinnan käsittelyn yksikkökustannukset olivat vuonna 2000 keskimäärin äestyskoneessa ja laikutuksessa 134 €/ha sekä aurauksessa ja mätästyskoneessa 209 €/ha (Metsätaloustieteellinen tutkimuskeskus 2001). Hakkuutähteettömillä alueilla on mahdollista päästä kevyemmällä ja tuotokseltaan tehokkaammilla laitteilla riittävän hyvään, esim. kairavikonmätästykseen verrattavaan, muokausjälkeen. Arin ja Kumpareen (1992) tutkimustulosten mukaan käyttötuntituotto Bräcken mätästävällä laikkurilla vaihteli olosuhteista riippuen 0,9 - 1,9 ha. Yksikön käyttötuntikustannus on vuotuisesta käytöstä riippuen 56 - 69 euroa. Parpalan (1995) tutkimuksessa maataloustraktoriveivon Toimi-mätästäjän hehtaarikustannukseksi muodostui ohutkuntaisilla mailloin 60 euroa.

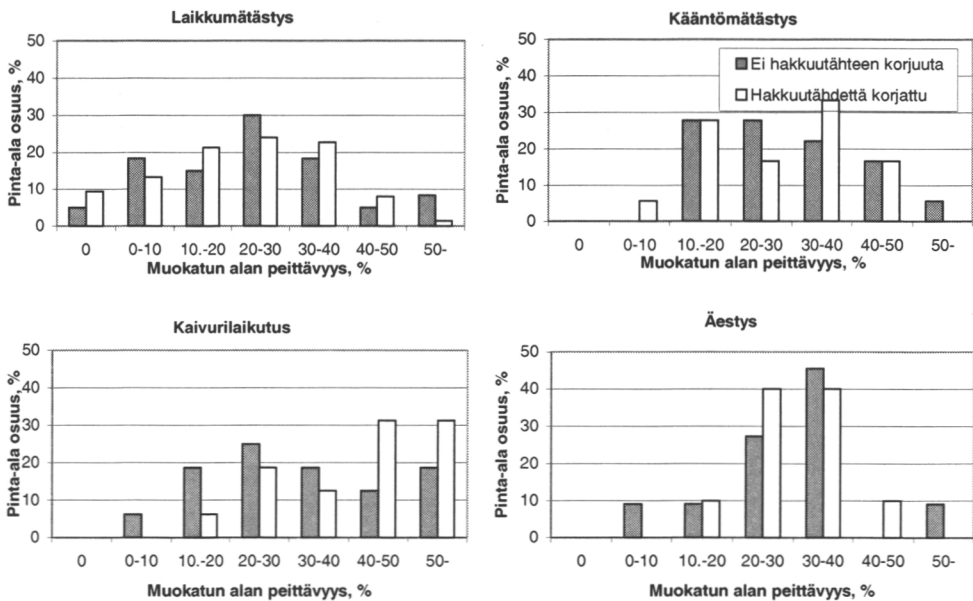
Koekentillä ei voitu havaita eroa maanmuokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuudessa hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien koalojen välillä (taulukko 6).

Mätästysaloilla muokattua pinta-alaa oli 23 - 27 % ja äestetyllä alalla 28 - 31 %. Kaivurilaikutetulla kohteella muokkauksen peittävyys nousi hakkuutähteen korjuuruudulla 42 %:iin, kun se hakkuutähteellisellä alalla jäi 33 %:iin, mutta tämäkin ero ei osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi.

Muokkausjäljen havaintojakaumakin oli laikku- ja kääntömätästyksessä hyvin samankaltainen niin hakkuutähteellisillä kuin hakkuutähteettömillä kohteilla (taulukko

Taulukko 6. Muokkausjäljen peittävyiden keskiarvot (% kuva-analyysiin perustuva luokitus) sekä jakauman huipukkuus hakkuutähteettömillä (A) ja hakkuutähteellisillä (B) koeruuduilla muokkaustavoittain. Muokkausjäljen erojen testaus hakkuutähteen korjuun suhteen varianssianalyysillä.

		Laikku- mätästys	Kääntö- mätästys	Kaivuri- laikutus	Äestys
Muokatun maanpinnan osuus, %	A	24±15	29±12	33±19	28±16
	B	23±14	27±12	42±15	31± 8
	F-arvo	0,254	0,302	2,102	0,368
	p-arvo	0,615	0,586	0,157	0,551
Jakauman huipukkuus	A	-0,02±0,61	-1,11±1,04	-0,99±1,10	1,39±1,23
	B	-0,50±0,55	-0,94±1,04	-0,61±1,10	1,60±1,33

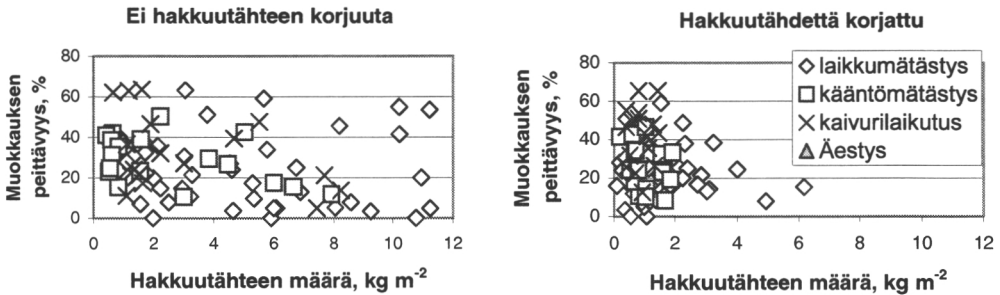


Kuva 8. Muokkausjäljen peittävyiden havaintojakauma muokkaustavoittain hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömillä koaloilla.

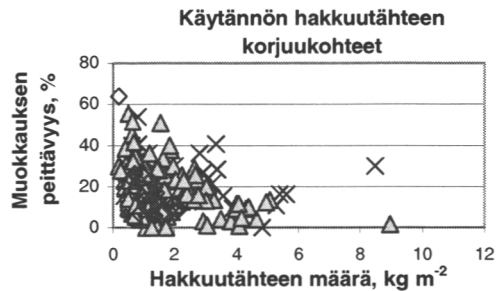
6 ja kuva 8). Kaivurilaikutuksessa hakkuutähteen korjuuruudulla voimakkaasti muokattua pinta-alaa (yli 40 % muokattua pintaa) oli selvästi enemmän kuin hakkuutähteellisellä ruudulla. Äestysjälki näyttää hakkuutähteen korjuuruudulla muodostuvan tasaisemmaksi (pienempi vaihteluväli) kuin hakkuutähteellisellä ruudulla. Sekä kaivurilaikutuksen että äestysten tulosten yleistettävyyttä heikentää havaintojen vähäisyys (vain yhdet koeruudut).

Hakkuutähteen määrän noustessa muokkausjäljen peittävyys aleni kaikissa muokkaustavoissa (kuva 9). Laikkumätästyksessä hakkuutähteen määrän ja muokkausjäljen peittävyys välillä negatiivinen korrelaatio oli heikoin, -0.049 (p-arvo 0.625). Kääntömätästyksessä vastaava korrelaatio oli -0.273 (p-arvo 0.107). Kaivurilaikutuksessa hakkuutähteet heikensivät muokkausjälkeä voimakkaimmin (korrelaatio -0.405 , p-arvo 0.022).

Myös käytännön uudistusaloilla hakkuutähteen määrä oli heikentänyt muokkausjälkeä (kuva 9). Äestysaloilla, joista aineisto pääosin koostui, hakkuutähteen määrän ja muokkausjäljen peittävyys välillä vallitsi merkittävä negatiivinen korrelaatio (-0.316 , p-arvo <0.001). Hyvien istutuskohtien määrää kuvaava muokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuus oli inventoiduilla käytännön kohteilla keskimäärin 19 %. Nyt havaittu paljastuneen kivennäismaan osuus on hieman suurempi kuin Oijalan ym. (1999) tutkimuksessa, vaikka molemmissa oli kysymys äestyksestä. Ero voi johtua muokkausajankohdasta, muokkauskohteiden maastoeroista ja/tai muokkausjäljen arvioinnissa käytetystä menetelmästä.



Kuva 9. Hakkuutähteen määrän vaikutus muokkausjäljen peittävyteen muokkaustavoittain koekentillä (ylemmät kuvat) ja käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla (alempi kuva). Muokkausjäljen peittävyys arvioitu valokuvasta kuvatulkinnalla ja hakkuutähteen määrä kuvauspisteestä mitatun hakkuutähdeteitteen paksuudella (9 mittauspisteen keskiarvo/koekentät; 13 mittauspisteen keskiarvo/käytännön hakkuutähteen korjuukohteet).



4.3 Istutustyö ja istutustyön laatu

Käsinistutuksen tuotos vaihteli hakkuutähteellisillä alueilla 223 - 295 tainta/tehotunti ja hakkuutähteettömällä alueilla 223 - 300 tainta/tehotunti (taulukko 7). Keskimääräinen tuotos oli hakkuutähteellisellä 253 ja hakkuutähteettömällä 266 tainta/tehotunti. Istutustyön ero oli vain 5 % hakkuutähteettömän eduksi, eikä keskiarvojen ero osoitautunut tilastollisesti merkitseväksi (p-arvo 0,373). Siirtymisen osuus oli keskimäärin 3 %-yksikköä suurempi hakkuutähteellisellä kuin hakkuutähteettömällä alueella (kuva 10).

Eri alueilla tulokset vaihtelevat, kahdella hakkuutähteellisellä alueella istutustyö on ollut joutuisampaa kuin hakkuutähteettömällä. Aineiston perusteella hakkuutähteettömän alueen istutus on keskimäärin hieman joutuisampaa. Kurkon äestetyllä ja hakkuutähteellisellä alueella käsin istutuksen tuotos oli 224 tainta/tehotunti ja hakkuutähteettömällä alueella 262 tainta/tehotunti.

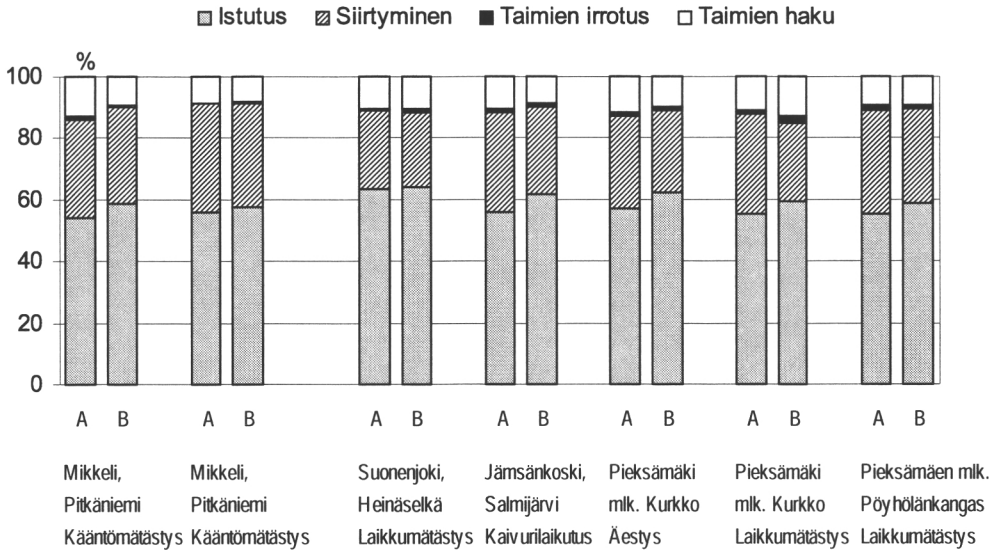
Tässä tutkimuksessa taimien paakkutyyppejä oli PL 81F, jossa täydessä taimilaatikoissa on 81 tainta. Taimilaatikko oli istuttajan kylkelineessä ja taimet istutettiin suoraan taimilaatikosta. Istutustiheys vaihteli mätätetyillä alueilla 1 550 - 2 306 taimen/ha. Keskimääräinen taimitiheys hehtaarilla oli n. 300 kpl suurempi kuin mätätäiden lukumäärä. Poikkeuksena oli Suonenjoen koealue, jossa hehtaarikohtainen mätätäiden lukumäärä ja taimitiheys olivat samaa suuruusluokkaa. Äestetyllä alueella taimitiheys oli hakkuutähteellisellä alueella 1 957 ja tähteettömällä 1 850 tainta/ha.

Taulukko 7. Istutustyön tehotuntituotokset koekentittäin sekä keskiarvojen erojen testaus varianssianalyysillä. A = ei hakkuutähteen korjuuta, B = hakkuutähdettä korjattu.

Koekenttä	Muokkausmenetelmä	Taimia / tehotunti	
		A	B
Mikkeli, Pitkäniemi ⁽¹⁾	Kääntömätästys	223	273
Mikkeli, Pitkäniemi ⁽²⁾	Kääntömätästys	267	240
Suonenjoki, Heinäselkä	Laikkumätästys	295	296
Jämsänkoski, Salmijärvi	Kaivurilaikutus	239	223
Pieksämäen mlk., Kurkko	Äestys	224	262
Pieksämäen mlk., Kurkko	Laikkumätästys	264	267
Pieksämäen mlk., Pöyhölänkangas	Laikkumätästys	256	300
Keskiarvo		253	266
Keskihajonta		26	28
F-arvo			0,855
p-arvo			0,373

1) ei mätään tiivistämistä

2) mätään tiivistys



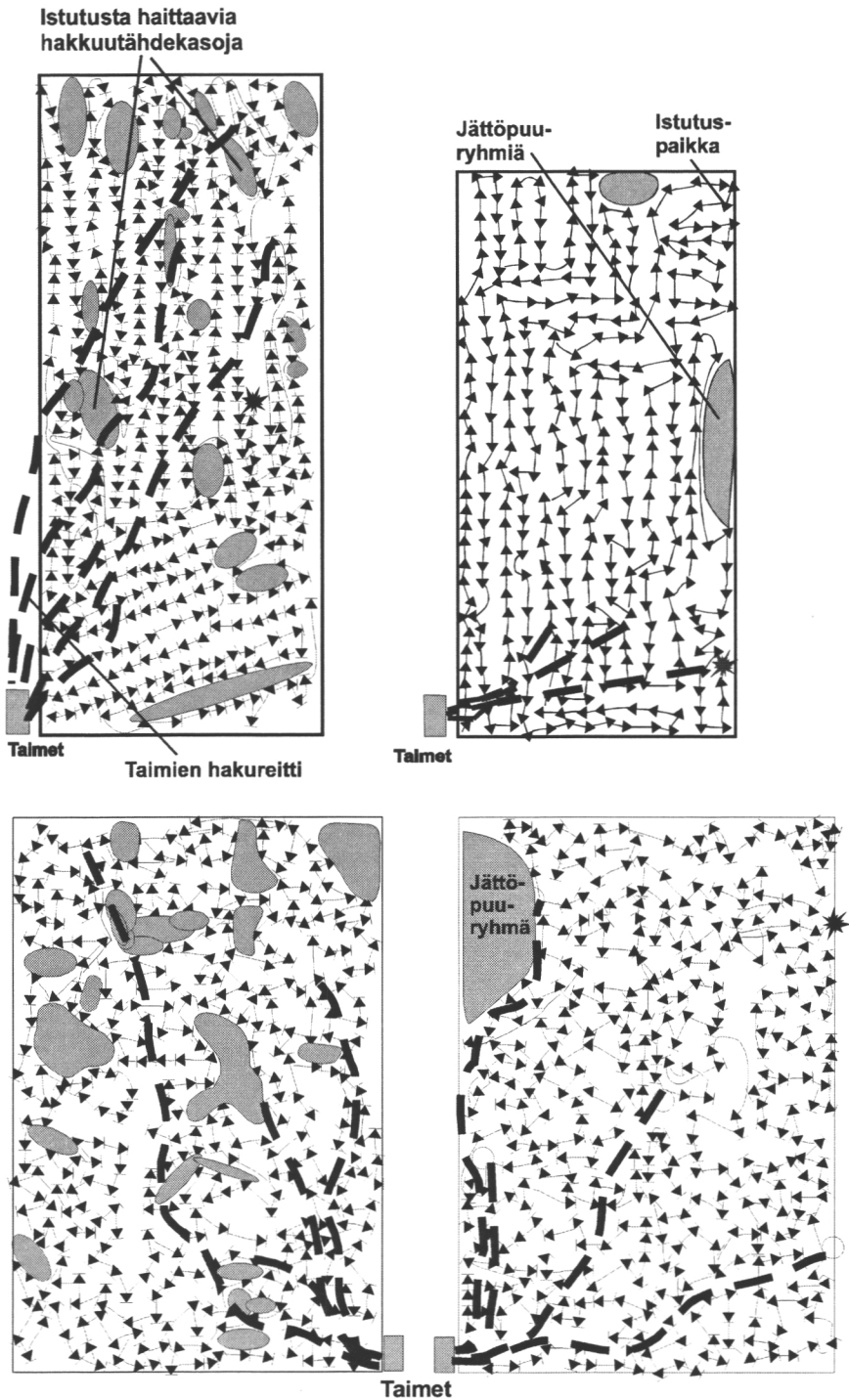
Kuva 10. Käsiniestutustyön työvaihejakaumat. A = ei hakkuutähteen korjuuta, B = hakkuutähdettä korjattu.

Metsähallituksen kolmen päivän seuranta tutkimuksessa kuusi ammattimetsuria istutti pieniä paakkutaimia (täydessä taimiritilässä 215 tainta) Bräcke-mättäisiin. Työn tuottavuus vaihteli 350 - 490 taimeen tehotunnissa ja istutus tiheys 2 160 - 2 780 taimeen hehtaarilla (Ari & Korhonen 1993).

Käsiniestutusaloilta piirrettiin kartta (kuva 11), josta näkyy taimien istutuspaikat ja istuttajan kulkema todellinen reitti (kulkemista haittaavien esteiden kiertely). Istuttajan kulkeman matkan keskimääräinen ero hakkuutähteellisen ja -tähteettömän alueen välillä oli 10 cm tainta kohti (taulukko 8). Tämä merkitsee 25 ylimääräistä metriä tehotunnissa. Matka sisältää vain varsinaisessa istutustyössä (ei taimien hakua ja kul-

Taulukko 8. Istuttajan istutustyössä kulkema matka (m/taimi). Matka sisältää vain koeruudulla istutuspaikasta toiseen kuljetun matkan (ei tainten hakua).

Koekenttä	Ei hakkuutähteen korjuuta	Hakkuutähdettä korjattu
Mikkeli, Pitkäniemi	2,0	2,0
Suonenjoki, Heinäselkä	2,1	2,3
Jämsänkoski, Salmijärvi	2,3	2,2
Pieksämäen mlk., Kurkko	2,6	2,5
Pieksämäen mlk., Pöyhölänkangas	2,4	2,2
Keskimäärin	2,3	2,2
Pieksämäen mlk., Kurkko (äestys)	2,6	2,4



Kuva 11. Istuttajan kulkema reitti hakkuutähteellisellä (vasen) ja -tähteettömällä (oikea) koelalla. Esimerkkinä Pieksämäen mlk:n Kurkon koekenttä. Ylemmässä kuvaparissa muokkausmenetelmänä äestys (ruudut 30 x 70 ja 30 x 60 m) ja alemmassa mätästys (ruudut 40 m x 60 m).

kemista taimivakan kanssa istutuksen aloituspaikkaan) kuljetun matkan. Tulosta voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavana, koska Mikkelin koalueella istutusmatkassa ei ollut eroa hakkuutähteellisen ja -tähteettömän alueen välillä ja Suonenjoella ero oli hakkuutähteellisen eduksi. Suonenjoen tulokseen lienee vaikuttanut mätästyksen systemaattinen työtapana, jossa hakkuutähteistä muodostui pitkiä yhtenäisiä kasaumia. Nämä 'ohjasivat' istuttajaa ja vähensivät turhaa kävelyä. Istuttajan kokonaisuudessa kulkeman matkan optimointi ja työn kannalta tarkoituksenmukainen taimimäärä/istutusvakka vaikuttaa työn tuottavuuteen. Myös taimivaraston/ taimivarastojen sijoittelulla on merkitystä.

Automaattisyöttöllä varustetun Bräcke-istutuskoneen tehotuntituotos oli hakkuutähteellisellä alueella 228 tainta ja hakkuutähteettömällä alueella 279 tainta.

Aikatutkimuksesta on poistettu prototyypistä johtuneet keskeytykset. Työajan ja kaumissa hakkuutähteellisellä ja hakkuutähteettömällä alueella koneen siirtymisen ja taimitädennyksen osuudet olivat lähes samat. Hakkuutähteellisellä alueella tähteiden siirron osuus oli 6 %. Tuotoksen ero oli kuitenkin noin 20 % hakkuutähteettömän eduksi. Hakkuutähteettömällä alueella istutuspaikan tai mättään paikan valinta on helpompi kuin hakkuutähteellisellä. Tämä lienee suurin syy hakkuutähteiden siirron lisäksi työn tuottavuuden eroihin.

Istutuskoneita käsittelevissä tutkimuksissa ilman automaattista syöttölaitetta olevan Bräcke-istutuskoneen tuotos on ollut hakkuutähteellisillä alueilla 133 - 168 tainta/käyttötunti (Arnkil & Hämäläinen 1995) ja 130 - 147 tainta/tehotunti (Rummukainen ym. 2002). Arnkilin ja Hämäläisen (1995) tutkimuksessa käyttöajan osuus oli 72 - 80 % työajasta. Ruotsissa Bräcke-istutuskoneen tuottavuus on ollut 210 - 260 tainta/tehotunti (von Hofsten 1993, Engquist & Moretoft 1993).

Automaattisyöttöllä varustetulla Bräcke-istutuskoneella taimilaatikoiden laitton osuus syöttölaitteeseen oli 3,3 % tehoajasta. Rummukaisen ym. (2002) tutkimuksessa taimipöydän täytön osuus oli 24 - 29 % tehoajasta (ilman automaattisyöttöä). Tuotos oli hakkuutähteellisillä alueilla 228 tainta/tehotunti, mikä on yli 50 % parempi kuin esim. Rummukaisen ym. (2002) ja samaa suuruusluokkaa kuin ruotsalaisten tutkimuksissa (von Hofsten 1993, Engquist & Moretoft 1993) esittämät Bräcke-istutuskoneen (ilman automaattisyöttöä) tuotokset. On kuitenkin huomioitava, että nyt kerätty työn tutkimusaineisto käsitti vain 1,26 ha istutuksen ja aineistosta on poistettu prototyypistä johtuvat keskeytykset.

Automaattinen syöttölaite lisää istutuskoneen kokonaispainoa yli 100 kg. Havaintojen perusteella istutuspään paino rajoittaa työskentelyetäisyyttä. Voimakas istutuspään tärähtely saattaa irrottaa taimia kennostosta ja aiheuttaa syöttölaitteen toimintahäiriöitä. Automaattinen syöttölaite edellyttää taimen helppoa irtoamista kennostosta ja paakun koossa pysymistä. Toimintavarmuuden lisääminen edellyttää taimien kasvatusmenetelmien ja istutuslaitteen edelleen kehittämistä. Nykyisten istutuskoneiden syöttölaitteita voidaan myös kehittää esim. taimimäärän osalta. Koska automaattisen syöttölaitteen toimintavarmuus ja paino aiheuttavat ongelmia, olisi tarkoituksenmukaista kehittää myös erillistä pelkästään istutustyön tekevää automaattisyöttöistä konetta. Tämä on vastoin yleistä käsitystä siitä, että saman istutuskoneen pitää pystyä tekemään sekä maanpinnan käsittely että istutus.

Tämän tutkimuksen inventoinnissa koneistutustaimista oli hakkuutähteettömillä koeruuduilla kasvualustastaan irti 19 % ja hakkuutähteellisillä 14 %. Hyvin kasvualustassaan kiinni olevien taimien osuus oli molemmilla menetelmillä 57 %. Hakkuutähteettömillä ruuduilla taimista oli suorassa 44 % ja 20 % taimista oli yli 30° vinossa, kun hakkuutähteellisillä vastaavat luvut olivat 26 % ja 30 %. Hyvinistutettujen taimien (taimi hyvin kiinni kasvualustassa ja suorassa) osuus oli hakkuutähteettömillä ruuduilla 27 % ja hakkuutähteellisillä 13 %. Vastaavasti kasvualustasta irti tai yli 30° kallellaan olevien taimien osuudet olivat 31 % ja 38 %.

Heikkisen (1996) inventoinnin mukaan istutusvirheitä löydettiin 14 % koneistutetuista ja 8 % käsinistutetuista taimista. Istutusvirheiksi oli luokiteltu esteiden päälle tai muuten väärin istutetut taimet.

Heikkisen (1996) tutkimuksessa istutusta seuraavana vuonna Bräcke-koneella istutetuista taimista oli 16 % enemmän kuin 15 astetta vinossa. Vastaava osuus käsin istutetuilla taimilla oli 3 %. Koko aineistossa kuolleitten taimien osuus oli koneistutuksissa 4 % ja käsinistutuksissa 2 %. Ruotsissa Silva-Nova -istutuskoneella tehdyissä vertailukokeissa taimien elossaolo oli vuonna 1995 istutetuilla kohteilla 79 % ja käsin istutetuilla 90 %. Seuraavana vuonna istutetuilla kohteilla luvut olivat 70 % ja 87 % (Nyström 1998). Vuonna 1998 verrattiin erityisen huolellisen käsinistutuksen ja koneistutuksen taimien elossaoloa. Ero oli 9 % huolellisen käsinistutuksen eduksi (Nyström 2000).

Aulinin (2002) tutkimuksen mukaan koneistutetuista taimista keskimäärin 90 % oli suorassa. Mätästystiheys oli kaikilla kohteilla keskimäärin 1970 kpl ha⁻¹. Tämän tutkimuksen mukaan kaikkien alueiden keskimääräinen mätästystiheys oli hakkuutähteellisillä alueilla 1 557 kpl ha⁻¹ hakkuutähteettömillä 1 547 kpl ha⁻¹ ja vaihteluväli kaikilla koelalueilla 1 314 - 2 021 kpl ha⁻¹.

Istutusaineistojen pienuudesta johtuen vertailevia kustannuslaskelmia ei tehty. Työn tuottavuuden erojen perusteella voidaan suoraan päätellä myös kustannuserot.

Istutustiheys ja sen vaihtelu on eräs istutustyön laatua kuvaava mittari. Istutustiheys oli mätästetyillä koekentillä keskimäärin 1 800 tainta hehtaarilla (taulukko 9).

Taulukko 9. Istutustiheys hakkuutähteellisillä ja -tähteettömillä koeruuduilla sekä käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla (keskiarvo±keskihajonta). Istutustiheyden erojen testaus hakkuutähteen korjuun suhteen varianssianalyysillä.

		Laikku- mätästys	Kääntö- mätästys	Kaivuri- laikutus	Äestys
Kenttäkokeet					
Istutustiheys, taimia ha ⁻¹	A	1720±430	1790±530	1450±350	2030±220
	B	1740±440	1880±330	1410±430	1940±380
	F-arvo	0,087	0,361	0,073	0,519
	p-arvo	0,769	0,552	0,789	0,480
Käytännön uudistusalat		Mätästys	Äestys	Laikutus	
Istutustiheys, taimia ha ⁻¹		1810±370	1830±480	1870±380	

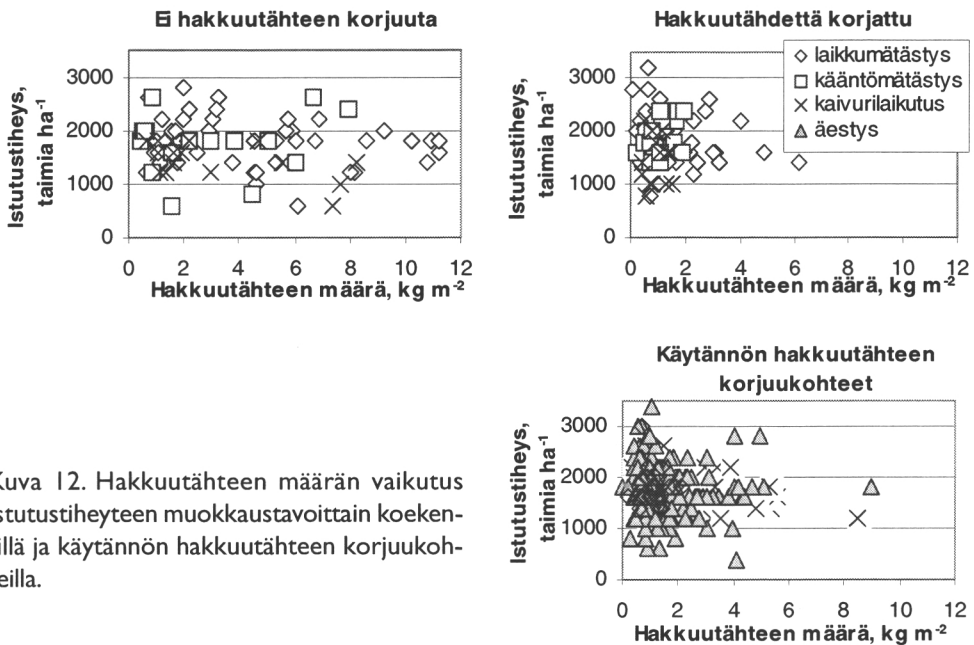
Kaivuriläikutuksella muokatulla koekentällä istutustiheys jäi keskimäärin hieman yli 1 400 taimen hehtaarilla. Istutustiheydet olivat yhtäläiset niin hakkuutähteellisillä kuin hakkuutähteettömillä koeruuduilla.

Kenttäkokeissa istutustaimien tiheys pieni hieman hakkuutähteen määrän kasvaessa laikkumätästyksessä (korrelaatio -0,192, p-arvo 0.056) ja kaivuriläikutuksessa (korrelaatio -0.263, p-arvo 0.145). Käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla hakkuutähteen määrällä oli suurempi vaikutus istutustiheyteen (kuva 12), erityisesti äestysaloilla (korrelaatio -0.217 p-arvo 0.003). Hakkuutähteen vaikutus istutustiheyteen näyttää tulevan muokkausjäljen 'kautta'. Lähes poikkeuksetta hakkuutähteen vaikutus oli suurempi muokkausjälkeen kuin istutustiheyteen.

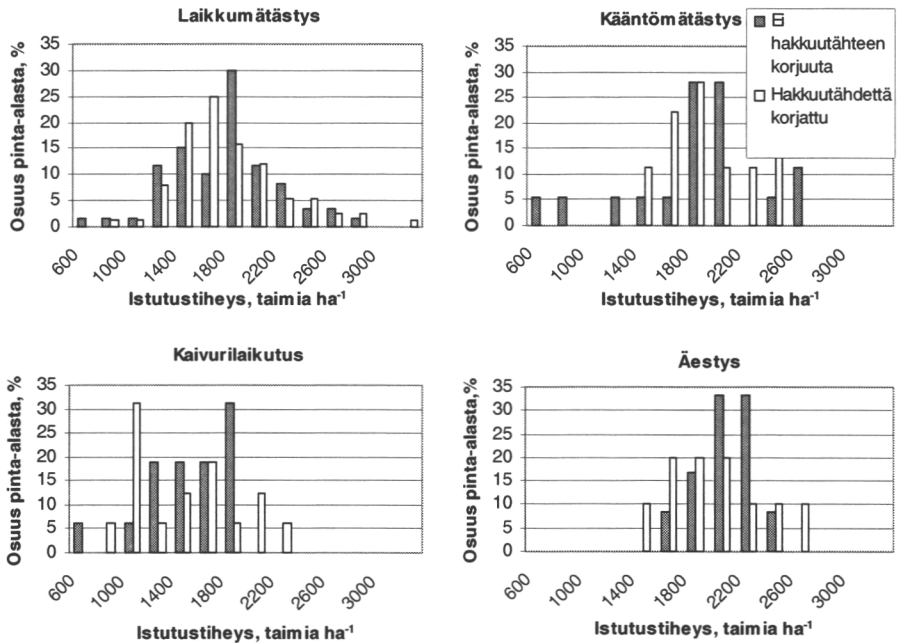
Istutustiheyden havaintojakaumaan hakkuutähteen korjuulla ei näyttänyt olevan kovin suurta vaikutusta. Mätästyksessä ja kaivuriläikutuksessa istutustiheyden minimi- ja maksimi arvot olivat hakkuutähteettömillä ruuduilla hieman suuremmat kuin hakkuutähteellisillä ruuduilla (kuva 13). Tätä lievää jakauman siirtymää lukuun ottamatta istutustiheyden jakaumissa ei ollut oleellisia eroja hakkuutähteen määrän suhteen. Käytännön hakkuutähteen korjuualoilla istutustiheyden jakauma oli äestysaloilla selvästi laajempi (600 - 3600 tainta ha⁻¹) kuin tutkimuksen kenttäkokeissa.

Istutustaimien tilajärjestystä kuvaava ryhmittäisyysindeksi I_c (Cox 1971) osoitti kaikilla kartoitetuilla koekentillä taimikon olevan satunnaista tasaisempi (I_c arvot vaihtelivat välillä 2,9 - 8.2). Neljällä koekentällä kuudesta taimikko oli hakkuutähteen korjuuruuduilla tasaisempi (I_c suurempi) kuin hakkuutähteellisellä alalla.

Yhtenä istutustyön laatua kuvaavana tekijänä voidaan pitää taimen etäisyyttä humuspinnasta. Mätästysaloilla ja kaivuriläikutuksessa taimen keskimääräinen etäisyys



Kuva 12. Hakkuutähteen määrän vaikutus istutustiheyteen muokkaustavoittain koekentillä ja käytännön hakkuutähteen korjuukohteilla.



Kuva 13. Istutustiheyden havaintojakauma muokkaustavoittain hakkuutähteellisillä ja -täteettömillä ruuduilla.

humuksesta oli 30 cm, mutta äestyksessä keskimääräinen etäisyys jäi 16 cm:iin äestykselle ominaisesta kapeasta muokausjäljestä johtuen. Käytännön uudistusaloilla taimien keskimääräinen etäisyys oli äestysjäljessä hieman suurempi, 24 cm.

Koekentillä kärsäkäsyyöntejä esiintyi hyvin vähän ja ne kaikki löytyivät äestysruudulta. Käytännön uudistusaloilla ensimmäisen kasvukauden aikana syntyneitä kärsäkäsuhuja esiintyi 12 %:lla taimista, joista kolmannes oli vaurioitunut pahoin (yli puolet rungon ympärystä syöty). Vioittuneiden taimien etäisyys humuksesta oli keskimäärin 18 cm kun kärsäkäsuhuilta säästyneet olivat keskimäärin 25 cm:n päässä humuksesta. Hakkuutähteen määrän kasvaessa pieneni koealalla olleiden taimien keskimääräinen etäisyys hieman (korrelaatio -0,136 p-arvo 0,021), mikä ilmeisesti johtui muokausjäljen heikkenemisestä. Pullisen (1989) tekemässä tutkimuksessa 10 cm matka kivennäismaapintaa alensi tukkimiehentäituhoriskia 40 - 50 %:sta 15 - 20 %:iin verrattuna humuspeitteen viereen istutettuun taimeen.

Istutuspaikan valintaa ja istutustyön laatua kuvaavissa muuttujissa ei havaittu suuria eroja hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien koeruujujen välillä (taulukko 10). Muokausjäljestä johtuen joka kolmas taimi oli äestyksellä ja kaivurilaikutuksessa keskimäärin ympäröivää maanpintaa alempana. Mätästyksissä vastaavia tapauksia oli vain muutamia. Samoin liian märäksi arvioituihin kohtiin istutettuja taimia oli pääasiassa vain äestysalalla, jossa hakkuutähteen korjuun jälkeen muokausjälki näyttää olevan tarpeettomankin 'syvä' hyviä istutuskohtia ajatellen.

Käytännön uudistamiskohteillakin istutuspaikan valinta oli onnistunut 90 %:sti. Istutustyön laatu kokonaisuutena todettiin yli 85 %:ssa tapauksista hyväksi. Näillä

Taulukko 10. Istutustyön laatu hakkuutähteellisillä (A) ja hakkuutähteettömillä (B) koeruu-
duilla muokkaustavoittain.

	Laikku- mätästys		Kääntö- mätästys		Kaivuri- laikutus		Äestys	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Istutuspaikan taso								
Ylempanä (> 5 cm)	70	67	30	19	25	11	0	0
Keskitasolla	28	33	66	75	49	60	71	64
Alempana (> 5 cm)	2	0	4	6	26	29	29	36
Istutusalueen laatu I								
Muokattu	99	93	94	88	98	99	96	95
Muokkaamaton	1	7	6	12	2	1	4	5
Istutusalueen laatu II								
Mineraalimaa	4	5	29	25	50	77	89	84
Mineraalimaa + humus	93	91	64	63	47	22	6	11
Humus	3	4	7	12	3	1	5	5
Istutuspaikka								
Hyvä	99	96	97	88	100	100	95	96
Tyydyttävä	1	4	3	12	0	0	5	4
Taimien asento								
Suorassa	92	97	99	100	100	100	100	100
Vinossa (> 10°)	8	3	1	0	0	0	0	0
Istutuskohdan märkyys								
Ajoittain liian kuiva	14	12	2	1	1	0	3	3
Normaali	86	88	98	97	91	99	92	85
Ajoittain liian märkä	0	0	0	2	8	1	5	12

pääosin äestäen muokatuilla aloilla alle 7 % taimista oli istutettu liian pintaan, jolloin paakku oli selvästi näkyvässä. Vastaavasti 8 % taimista tulkittiin olleen liian syväälle istutettuja (paakun yläreuna yli 4 cm:n syvyydessä).

4.4 Taimien alkukehitys ja uudistamistulos

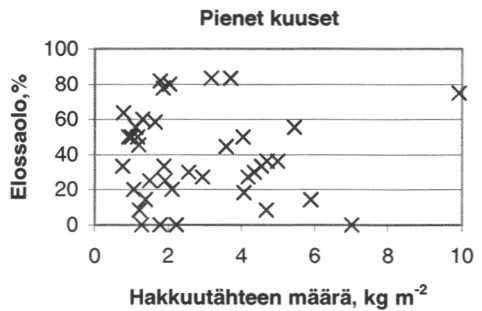
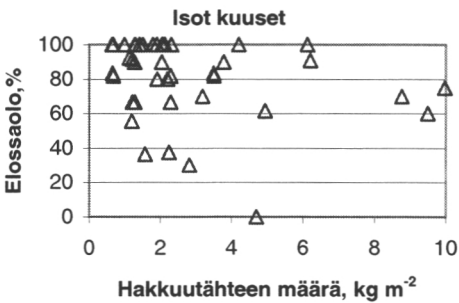
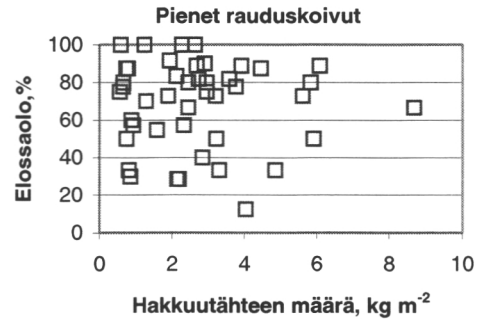
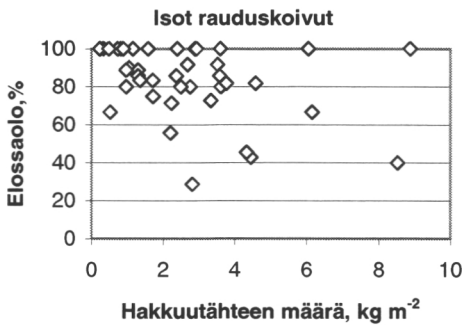
Tutkimuksessa perustetuilla kenttäkokeilla istutustaimet olivat lähes poikkeuksetta elossa ensimmäisen kasvukauden jälkeen. Ensimmäisen kasvukauden pituuskasvu oli sekä hakkuutähteellisillä että hakkuutähteettömillä aloilla keskimäärin sama, 8,9 cm (taimien kokonaispituudet vastaavasti 20,4 ja 21,3 cm).

Neljä vuotta vanhalla koekentällä (Oijala ym. 1999) oli rauduskoivun taimista elossa keskimäärin 70 - 80 %. Vastaavana ajankohtana kuusen isoista taimista (mediaanipituus istutettaessa 27 cm) oli elossa 80 %, mutta pienistä kuusista (mediaanipituus istutettaessa 9 cm) vain alle 40 %.

Hakkuutähteen määrä vaikutti taimien elossaoloon (kuva 14). Puulajista ja taimen koosta riippumatta kuolleisuus oli suurinta koelohjoilla, joilla oli eniten (yli 40 000 kg ha⁻¹) hakkuutähteitä. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (taulukko 11). Vähän hakkuutähteitä sisältäneillä kohdilla elossaolosadannes oli 6 - 22 %-yksikköä suurempi kuin paljon hakkuutähteitä sisältäneillä kohdilla. Tulos vastaa aiemmin Ruotsissa tehtyjä havaintoja (Sinclair ym. 1992, Egnell & Leijon 1996).

Taulukko 11. Elossa olleiden istutustaimien osuus (keskiarvo \pm keskihajonta, n= koalojen lukumäärä) hakkuutähdemäärän mukaan luokiteltuna. Keskiarvojen testaus varianssianalyysillä.

Hakkuutähteen määrä, kg ha ⁻¹	Rauduskoivu		Kuusi					
	Isot	Pienet	Isot	Pienet				
	n	x \pm s	n	x \pm s				
Alle 20 000	18	91 \pm 10	16	70 \pm 21	19	87 \pm 19	19	40 \pm 24
20 000 – 40 000	16	82 \pm 19	20	70 \pm 22	14	79 \pm 22	8	46 \pm 32
Yli 40 000	8	69 \pm 25	9	62 \pm 26	9	72 \pm 31	16	34 \pm 22
F-arvo	4,849		0,525		1,388		0,583	
p-arvo	0,013		0,595		0,262		0,563	

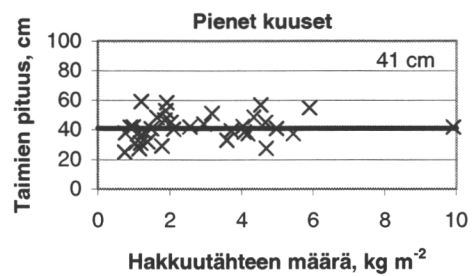
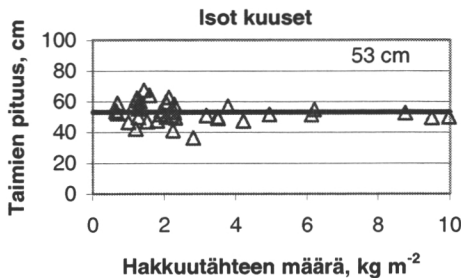
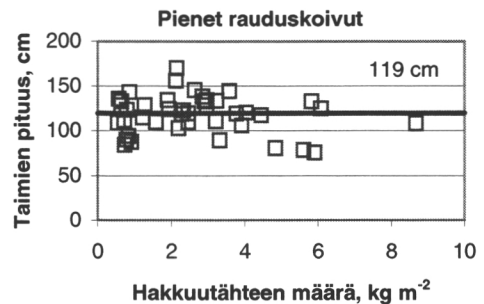


Kuva 14. Istutustaimien elossaolo (4 kasvukauden jälkeen) suhteessa hakkuutähdemäärään. Taimet istutettu keväällä 1998, tilanne syksyllä 2001. Korrelaatiot : isot rauduskoivun taimet ($r = -0,202$, $p = 0,061$), pienet rauduskoivun taimet ($r = -0,055$, $p = 0,719$), isot kuusen taimet ($r = -0,188$, $p = 0,234$), pienet kuusen taimet ($r = 0,048$, $p = 0,758$).

Neljän ensimmäisen kasvukauden aikana rauduskoivut olivat saavuttaneet keskimäärin lähes rinnankorkeuden tason kun kuusten keskipituus samaan aikaan ylsi 40 - 50 cm:iin. Taimien pituuskehitykseen hakkuutähteen määrällä ei ollut kovin suurta vaikutusta (kuva 15, taulukko 12). Keskimäärin pisimmät rauduskoivun taimet löytyivät

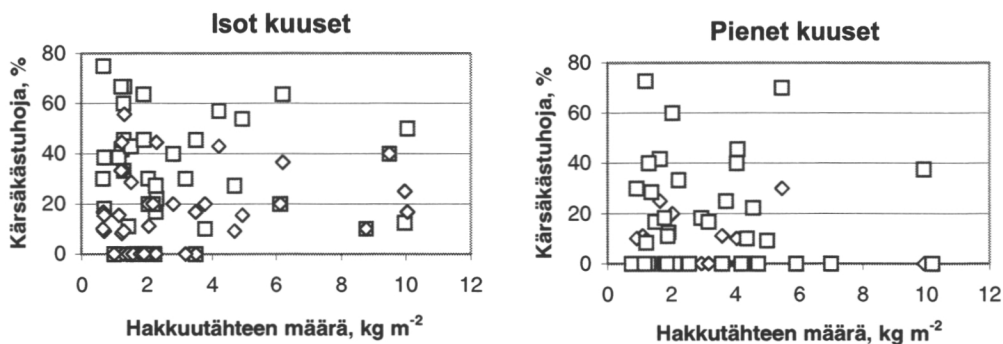
Taulukko 12. Istutustaimien pituus (cm) neljän kasvukauden jälkeen (keskiarvo±keskihajonta, n= koealojen lukumäärä) hakkuutähdemäärän mukaan luokiteltuna. Luokkakeskisarvojen välisten erojen testaus varianssianalyysillä.

Hakkuutähteen määrä, kg ha ⁻¹	Rauduskoivu		Kuusi	
	Isot n x ± s	Pienet n x ± s	Isot n x ± s	Pienet n x ± s
Alle 20 000	18 132±15	16 115±19	19 55±7	19 40±10
20 000 – 40 000	16 138±26	20 127±19	14 52±7	8 42±6
Yli 40 000	8 128±18	9 106±22	9 50±3	16 43±9
F-arvo	0,733	3,925	1,592	0,355
p-arvo	0,487	0,027	0,217	0,704

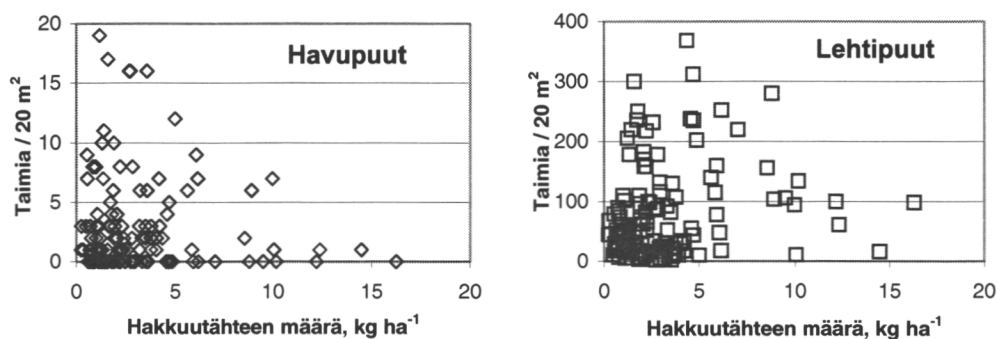


Kuva 15. Istutustaimien pituus neljän kasvukauden jälkeen suhteessa hakkuutähteen määrään. Kuviin on merkitty pituuden keskiarvot puulajeittain taimen kokoluokittain. Huomaa eri skaalaus y-akselilla rauduskoivun ja kuusen taimilla.

niiltä koealoilta, joilla hakkuutähkeitä oli kohtalaisesti (20 000 - 40 000 kg ha⁻¹). Pienet rauduskoivut olivat kasvaneet näillä koealoilla lähes merkittävästi paremmin kuin vähän tai runsaasti hakkuutähkeitä sisältäneillä koealoilla. Kuusen taimien pituuteen hakkuutähteen määrällä ei ollut vaikutusta. Samoin ensimmäisten vuosien pituuskasvuun hakkuutähteen määrällä ei kummallakaan puulajilla ollut vaikutusta.



Kuva 16. Kärsäkástuhojen osuus suhteessa hakkuutähteen määrään.



Kuva 17. Luontainen taimettuminen suhteessa koelan hakkuutähteen määrään. Tilanne neljän kasvukauden kuluttua maanmuokkauksesta. Huomaa eri skaalaus y-akseleilla!

Kärsäkástuhoja oli etenkin kookkaimmissa kuusen taimissa, joista 15 %:a oli syöty vuonna 1999 ja 32 %:a vuonna 2000 (kuva 16). Pienemmissä taimissa vastaavat lukemat olivat 5 % ja 17 %. Tässä aineistossa hakkuutähtemäärän kasvaessa kärsäkäden syönit eivät lisääntyneet, vaan kärsäkástuhojen ja hakkuutähteen määrän välillä vallitsi lievä negatiivinen korrelaatio.

Luontaisia havupuita löytyi koekentiltä keskimäärin hieman alle 2000 kpl ha⁻¹ ja siemensyntyisiä koivuja yli 40 000 kpl ha⁻¹. Luontaisten havu- ja lehtipuiden taimettumiseen hakkuutähteen määrällä ei ollut selvää vaikutusta (kuva 17). Havupuuttomien koalojen osuus oli runsaasti hakkuutähteitä (yli 40 000 kg ha⁻¹) sisältäneillä koaloilla yli 40 %, kun se vähemmän hakkuutähteitä käsittäneillä aloilla oli hieman yli 30 %. Samoin havupuiden taimien määrä jäi runsaasti hakkuutähteitä sisältäneillä koaloilla pienemmäksi kuin muilla koaloilla. Koivujen kohdalla ei voitu havaita mitään säännönmukaisuutta taimettumisen ja hakkuutähteen määrän välillä, vaan niitä oli kaikilla koaloilla runsaasti.

Mikkelin seudulla 4 - 6 vuoden iässä inventoidulla käytännön uudistusaloilla havupuiden luontainen taimettuminen oli hakkuutähteen korjuun jälkeen ollut runsaampaa kuin aloilla, joilta hakkuutähdettä ei oltu kerätty (taulukko 13). Suuremmasta tiheydestä huolimatta havupuiden taimettuminen oli kuitenkin yhtä ryhmittäistä niin

Taulukko 13. Uudistamistuloksen vertailu hakkuutähteen korjuun suhteen 4-6 -vuotiaissa taimikoissa (n = taimikoiden lukumäärä). Keskiarvojen välisten erojen testaus varianssianalyysillä.

Hakkuutähteen korjuuaste	Mänty		Istutuspuulaji Kuusi		Rauduskoivu	
	n	x ± s	n	x ± s	n	x ± s
Kasvatuskelpoiset istutustaimet						
Ei hakkuutähteen korjuuta	3	1378±193	11	1432±252	8	1540±329
Hakkuutähteitä korjattu	6	1381±379	10*	1362±261	10	1342±320
F-arvo / p-arvo		.00 / .987		.39 / .540		1.65 / .216
Kasvatuskelpoiset luontaiset taimet						
Ei hakkuutähteen korjuuta	3	707±362	11	291±128	8	193±200
Hakkuutähteitä korjattu	6	405±306	10*	593±267	10	430±197
F-arvo / p-arvo		1.74 / .228		11.1 / .003		6.29 / .023
Koko kasvatettava puusto						
Ei hakkuutähteen korjuuta	3	2085±226	11	1724±186	8	1733±171
Hakkuutähteitä korjattu	6	1787±426	10*	1955±271	10	1772±266
F-arvo / p-arvo		1.22 / .305		5.79 / .026		0.12 / .726

* Poikkeava, epäonnistunut kuusen istutusala (450 tainta/ha) poistettu aineistosta

hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömillä aloilla. Tuoreella kankaalla neljäs osa uudistusaloista oli jäänyt luontaisia havupuita vaille sekä hakkuutähteellisillä että hakkuutähteettömillä uudistusaloilla. Koivun taimettumisessa hakkuutähteiden määrällä ei ollut merkitystä.

Näillä 4 - 6 vuotta vanhoilla käytännön uudistusaloilla ei istutustaimien määrässä ei ollut havaittavissa yhdensuuntaista eroa hakkuutähteen määrän suhteen (taulukko 13). Kuusen ja rauduskoivun viljelyksillä istutustaimien määrä oli hieman suurempi hakkuutähteellisillä kuin hakkuutähteettömillä uudistusaloilla. Johtuiko tämä ero siten istutustiheys eroista vai todellisesta istutustaimien menestymiseroista, jää tässä yhteydessä selitystä vaille.

Luontaisten kasvatuskelpoisten taimien määrä oli hakkuutähteettömillä kuusen ja rauduskoivun viljelyaloilla selvästi suurempi kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla. Siksi kokonaisuudistamistulos eli istutustaimien ja luontaisten taimien muodostaman kasvatettavan puuston tiheys, oli kuusen istutusaloilla suurempi hakkuutähteettömillä uudistusaloilla (taulukko 13). Männyn istutusaloilla tilanne oli

Taulukko 14. Tavoitetiheyden täyttävien taimikoiden osuus (%) hakkuutähteellisillä ja tähteettömillä käytännön uudistusaloilla.

	Mänty	Istutuspuulaji	
		Kuusi	Rauduskoivu
Ei hakkuutähteen korjuuta	66,7	33,3	62,5
Hakkuutähteitä korjattu	50,0	72,7	70,0
Tavoitetiheys, taimia ha ⁻¹	2 000	1 800	1 600

toisinpäin ja rauduskoivikoiden tiheys oli runsaamman luontaisen täydennyksen ansioista hakkuutähteettömällä aloilla sama kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla.

Uudistamistulos, arvioituna uudistamistavoitteen saavuttaneiden taimikoiden osuutena, oli kuusen istutuksessa hakkuutähteen korjuualoilla yli 70 % kun hakkuutähteellisillä aloilla vastaava osuus oli 33 % (taulukko 14). Samoin rauduskoivikot olivat hakkuutähteen korjuukohteilla hieman parempia kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla. Pääosin tämä ero johtuu hakkuutähteen korjuualoilla tapahtuneesta runsaasta luontaisesta taimettumisesta.

Istutustaimien pituuskehityksessä ei näillä käytännön uudistusaloilla 4 - 6 vuoden iässä havaittu eroa hakkuutähteen määrän suhteen.

5 Yhteenveto

Hakkuutähteen korjuussa saatiin keskimäärin kaksi kolmasosaa hakkuutähteestä talteen, mikä vastaa aiemmin tehtyjä arvioita sekä käytännön korjuuohjeita. Hakkuutähdemäärän mediaani aleni hakkuutähteen korjuussa 25 000:sta 8 000:teen kg ha⁻¹, mikä osoittaa korjuun kohdistuneen sinne, missä hakkuutähdettä on ollut runsaiten.

Hakkuutähteistä vapaata maanpintaa oli hakkuutähteen korjuun jälkeen 15 - 20 %, kun se hakkuutähteellisillä aloilla jäi keskimäärin 10 %:iin. Vastaavasti uudistamista haittaavaan hakkuutähteitteiden osuus oli hakkuutähteellisillä aloilla yli 40 %, kun sen osuus hakkuutähteen korjuun jälkeen jäi alle 25 %:in.

Hakkuutähteettömillä alueilla mätästys (laikkumätästys/kääntömätästys) oli keskimäärin noin 15 % nopeampaa kuin hakkuutähteellisillä. Hakkuutähteiden poiston jälkeen on mahdollista päästä kevyemmällä sekä tuotokseltaan paremmilla laitteilla teknisesti riittävän hyvään muokkausjälkeen. Tällöin myös kustannukset maanmuokkauksen osalta alenisivat. Jos hakkuutähteiden lisäksi myös kannot poistetaan, voi tilanne maanmuokkauksen osalta edelleen helpottua. Tällöin riittävän hyvän mätästysjäljen voisi saada esim. Bräcken jatkuvatoimisella mätästävällä laikkurilla tai vastaavantyyppisellä laitteella. Tällaisia laitteita ei ole toistaiseksi tutkittu hakkuutähteettömillä ja kantojenpoistoalueilla.

Maanmuokkauksessa paljastuneen kivennäismaan keskimääräisissä osuuksissa ei ollut eroa hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien alojen välillä. Kuitenkin hak-

kuutähteen määrän noustessa muokkausjäljen peittävyys aleni muokkaustavasta riippumatta. Laikkumätästyksessä hakkuutähteen määrän ja muokkausjäljen peittävyysvälinen negatiivinen korrelaatio oli heikoin. Kaivurilaitutuksessa ja äestyksessä hakkuutähteet heikensivät muokkausjälkeä voimakkaimmin.

Käsinistutuksen tuotos vaihteli hakkuutähteellisillä alueilla 223 - 295 taimen/tehotunti ja hakkuutähteettömällä alueilla 223 - 300 taimen/tehotunti. Tuotosero oli keskimäärin 5 % hakkuutähteettömän eduksi. Keskiarvot eivät kuitenkaan poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Siirtymisen osuus oli keskimäärin 3 %-yksikköä suurempi hakkuutähteellisellä kuin hakkuutähteettömällä alueella.

Istutustaimien tiheys pieneni hieman hakkuutähteen määrän kasvaessa niin laikkumätästyksessä ja kaivurilaitutuksessa mutta erityisesti äestysaloilla. Hakkuutähteen vaikutus istutustiheyteen näyttää johtuvan muokkausjäljestä. Lähes poikkeuksetta hakkuutähteen vaikutus oli suurempi muokkausjälkeen kuin istutustiheyteen.

Yhtenä istutustyön laatua kuvaavana tekijänä voidaan pitää taimen etäisyyttä humuspinnasta. Riittävä kivennäismaan paljastaminen estää esim. tukkimiehentäin tuhoja. Kärsäkkäiden vioittamien taimien etäisyys humuksesta oli keskimäärin 18 cm, kun kärsäkätuhoilta säästyneet olivat keskimäärin 25 cm:n päässä humuksesta. Hakkuutähteen määrän kasvaessa taimien keskimääräinen etäisyys humuksesta pieneni hieman, mikä ilmeisesti johtui muokkausjäljen heikkenemisestä. Istutuspaikan valintaa ja istutustyön laatua kuvaavissa muuttujissa ei havaittu eroja hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien alojen välillä. Samoin liian märiksi arvioituihin kohtiin istutettuja taimia oli pääasiassa vain äestysalalla, jossa hakkuutähteen korjuun jälkeen muokkausjälki näyttää olevan tarpeettomankin 'syvä' hyviä istutuskohtia ajatellen.

Neljä kasvukautta seuratulla kenttäkokeella sekä kuusen että rauduskoivun kuolleisuus oli suurinta koealoilla, joilla oli eniten hakkuutähteitä (kuiva-ainetta yli 40 000 kg ha⁻¹). Vähän hakkuutähteitä sisältäneillä kohdilla elossaolosadannes oli 6 - 22 %-yksikköä suurempi kuin paljon hakkuutähteitä sisältäneillä kohdilla. Hakkuutähteen määrä ei vaikuttanut ensimmäisien vuosien pituuskasvuun kummallakaan puulajilla.

Käytännön uudistusaloilla saavutettu uudistamistulos, arvioituna uudistamistavoitteen saavuttaneiden taimikoiden osuutena, oli kuusen istutuksessa hakkuutähteen korjuualoilla yli 70 % kun hakkuutähteellisillä aloilla vastaava osuus oli 33 %. Samoin rauduskoivikot olivat hakkuutähteen korjuukohteilla hieman parempia kuin hakkuutähteellisillä uudistusaloilla. Pääosin tämä ero johtui hakkuutähteen korjuualoilla tapahtuneesta runsaasta luontaisesta taimettumisesta.

Kirjallisuus

Ahtiainen, M. 1988. Effects of clearcutting and forestry drainage on water quality in the Nurmes study. Proceedings of the international symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold regions. Joensuu Finland 6 - 8 Juni 1988. Vol. 1. Publications of the Academy of Finland 4/1988.

- Ari, T. & Korhonen, P. 1993. Istutuksen ajanmenekki Bräcke-mättäeseen. Metsähallitus. Kehittämissyksikkö, Tiedote 10/1993. 3 s.
- Ari, T. ja Kumpare, T. 1992. Bräcke-mätästävä laikkuri – kilpailukykyinen vaihtoehto maanmuokkaukseen. Metsähallitus. Kehittämissaasto. 5/1992. 5 s.
- Arnkil, R. & Hämäläinen, J. 1995. Bräcke planter- ja Ilves-istutuskoneiden tuottavuus ja työpöytä. Review: Bräcke planter and Ilves tree planting machines. Metsätehon katsaus 1:1-8.
- Aulin, K. 2002. Koneellinen istutus läpi kasvukauden: kuusen taimien maastomenestyminen ja istutustyön laatu. The field performance and planting quality of Norway Spruce seedlings planted with machine throughout growing season. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusyksikkö, Pieksämäki: metsätalouden koulutusohjelman opinnäytetyö. 59 s.
- Cox, F. 1971. Dichebestimmung und Systrukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Mitt. Bundeforsch. Anst. Forst- und Holzwirtschaft. Reibek b. Hamburg 87:184 s
- Egnell, G. & Leijon, B. 1996. Kortsiktiga effekter på skogsproduktionen av helträdsuttag i gallring och slutavverkning. Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 13:73-82.
- Engquist, M & Moretoft, M. 1993. Tidsstudie och productionsuppföljning på Öje-Planter sommaren 1993. Fördjupningsuppgift. Sveriges lantbruksuniversitet, Norra Skogsinstitutet. Teoksen Åhlund 1995 mukaan.
- Energiapuun hakkuu ja metsäkuljetus – konetyön korjuuohjeisto 2002. Koneyrittäjä-julkaisu 20. FinnMetko Oy. 16 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.
- Hakkila, P. 1973. The effect of slash on work difficulty in manual planting. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu 78.1. 60 s.
- Hakkila, P., Nousiainen, I. & Kalaja, H. 2001. Metsähakkeen käyttö Suomessa. Tilannekatsaus vuodesta 1999. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2087. 39 s.
- Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähde energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. 68 s.
- Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s.
- Heikkinen, J. 1996. Vuoden 1994 koneistutukset Enso-Gutzeit Oy:n Iisalmen piirissä. Keski-Savon oppimiskeskus, Pieksämäen metsäoppilaitos. Tutkielma. 51 s.
- von Hofsten, H. 1993. Hög kvalitet även på högkvaliteten med Öje-Planter. Summary: The Öje-Planter machine – good performance at a competitive cost. Skogforsk Resultat nr 3:1 – 4.
- Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Maaston vaikutus maanmuokkauslaitteiden työpöytä. Metsätehon tiedote 399.
- Jakobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B. 1999. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. Forest Ecology and Management 12:41 - 51.
- Nyström, C. 1998. Maskinell plantering. Plantaktuellt. Nr 3.
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. Boreal Environment Research 3:3 - 8.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1997. The role of logging residues in site productivity after first thinning of Scot spine and Norway spruce stands. Julkaisussa: Hakkila, P., Heino, M. &

- Puranen, E. (toim.). Forest Management for Bioenergy. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 640:230 - 237.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2001. Skogsstatistisk årsbok. Yearbook of forest statistics. Suomen virallinen tilasto, maa, metsä- ja kalatalous. Metsäntutkimuslaitos.
- Metsäntutkimuslaitos 2002. Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa vuonna 2001. Metsätilastotiedote 619.
- Nurmi, J. & Kokko, A (toim.). 2001. Biomassan tehostetun talteenoton seuranaivaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816. 80s.
- Nyström, C. 2000. Maskinell plantering ger bra biologisk resultat. Plantaktuellt. Nr 4.
- Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 27. 83 s.
- Parpala, J. 1995. Toimi-mätästää – edullinen vaihtoehto ohutkunttisille maille. Metsähallituksen kehittämissyksikkö. Tiedote 8: 1 – 5.
- Pohtila, E. 1977. Taimiston inventoinnin tarkkuus. Abstract: Accuracy of regeneration surveys. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 92:2. 43 s.
- Polttohakkeen tuotanto metsänuudistamisaloilta. 2000. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 26 s.
- Pullinen, J. 1989. Mahdollisuuksista ennakoita uudistusalan kasvupaikkatekijöiden perusteella tukkimiehentäin tuhoja männyn taimilla. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, maatalous- ja metsäeläintieteen laitos. 94 s. + liitteet.
- Rosén, K. 1991. Skörd av skogsbränslen i slutavverkning och galling - ekologiska effekter. Skogstyrelsen. Meddelande 5. 59 s.
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash - a consequence of modern forest harvesting techniques. Scandinavian Journal of Forest Research. 2(1):21-29.
- Rummukainen, A., Tervo, L. ja Kautto, K. 2002. Ilves- ja Bräcke-istutuskoneet – Tuottavuus, työnjälki ja kustannukset. Käsikirjoitus.
- Tynkkynen, M. 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. Metsätalon tiedotus 330.
- Saksa, T. & Auvinen, P. 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka: 265-274.
- Sinclair, E., Leijon, B. & Albrektson, A. 1992. Plantöverlevnad och tillväxt efter helträdsutnyttjande - sammanställning av fältförsök. Rapport från Vattenfall Utveckling AB, Projekt Bioenergi. Nr 7. 113 s.

ISBN 951-40-1831-1

ISSN 0358-4283