

Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukkaturvekankailla

Effect of vegetation and site preparation on the restocking of Scots pine and birch in dwarf-schrub and *Vaccinium vitis-idaea* type peatland forests

Markku Saarinen

Markku Saarinen, The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, Kaironiementie 54, FIN-39700 Parkano, Finland (e-mail: markku.saarinen@metla.fi)

The study deals with the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pendula* & *B. pubescens*) on ten experimental fields on peatland sites drained for forestry, mainly during the 1930s. The principal goal of the study was to investigate the effect of different types of natural ground vegetation on the restocking of pine and birch following site preparation (rotavation and mounding) on old drainage areas. Rotavation, which corresponds to disc trenching on upland forest soils, is capable of producing fully-stocked pine stands. The effect of surface treatments such as rotavation depends, however, on the predominant ground vegetation. *Sphagnum* moss patches are often well restocked even when not prepared, which means that site preparation often only has an effect on transformed *Pleurozium* and *Dicranum* vegetation. The success of rotavation has also encouraged forest owners to use other alternative methods of surface treatment such as mounding. The tree seedlings tend to be concentrated on the surface of the furrows produced by rotavation, which means that restricting digger-scarification to the topmost surface of the soil on well-drained regeneration sites can produce the same result; the required machinery is usually already present at the site for ditch network maintenance.

Key words: drainage areas, natural regeneration, peatlands

Johdanto

Vuonna 1928 säädetyin ensimmäisen metsänparannuslain seurauksena alkoi maassamme runsaan vuosikymmenen kestänyt ennennäkemätön uudisojituksen aikakausi. Tämän sotien jälkeen päättyneen lapio-ojituskauden tuloksena oli ehditty kuivattaa suota jo lähes miljoona hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Huomattava osa kyseisistä

ojitusalueista on saavuttamassa 70 vuoden kuivatusiän. Jo kuivatushetkellä puustoisina ne ovat nyt ehtineet uudistamiskypsään vaiheeseen tai se on edessä viimeistään lähimmän vuosikymmenen aikana. Etelä- ja Kaakkois-Suomessa tyypillinen tuon aikakauden ojitusalue on jokin ns. aidoista korpityypeistä, ruoho-, mustikka- ja kangaskorvet tärkeimpinä (Keltikangas ym. 1986). Rämetyoppien osuus on kuitenkin merkittävin Pohjan-

maalla, Kainuussa ja Lapissa. Useimmiten puolukaturvekankaaksi kehittyvä varsinainen sara-räme on yksittäisistä suotyypeistä ollut yleisin ojituskohde uudisojitustoiminnan kaikkina aikakausina (Keltikangas ym. 1986). Pohjanmaan-Kainuun alueella sen osuus 1930- ja 1950-lukujen kaikista ojitusalueista on lähes neljännes.

Saman aikakauden nuorilla ojitusalueilla tehdyistä uudistamistutkimuksista on vakiintunut käsitys turvemaiden herkästä luontaisesta uudistumisesta (Multamäki 1937, Multamäki 1939, Multamäki 1942, Lukkala 1946, Kalela 1946, Heikurainen 1954). Useimmissa tapauksissa on ollut kyse kosteiden rahkasammalvaltaisten kasvu-alueiden suotuisista itämisoloista. Myös käytännön metsänuudistamisaloilla tehdyt inventointitutkimukset (Peltonen 1986) ovat osoittaneet pääosin ojikko- tai muuttomavaiheissa olevien turvemaiden taimettuvan hyvin luontaisesti. Ojitusalueiden ikääntyessä nämä edulliset itämisolot kuitenkin heikkenevät kangasmaille ominaisten kasvilajien vallatessa alaa ja turvekerroksen pintaosien ominaisuuksien muuttuessa (Kaunisto & Päivänen 1985, Saارين 1997, Saارين & Hotanen 2000).

Vanhojen ojitusalueiden karuilla turvekankailla tähän mennessä tehdyt tutkimukset osoittavat luonnontaimia syntyvän uudistamisen kannalta riittävästi vain muokattuun pintaan. Muokkaamattomista pinnoista myös osa rahkasammalkasvustoista taimettuu huonosti. Muokkaus tasoittaa männyn suhteellista osuutta taimimäärästä

muutoin ylivoimaisena esiintyvään hieskoivuun verrattuna. (Kaunisto 1984, Moilanen & Issakainen 1984, Kaunisto & Päivänen 1985, Saارين 1993).

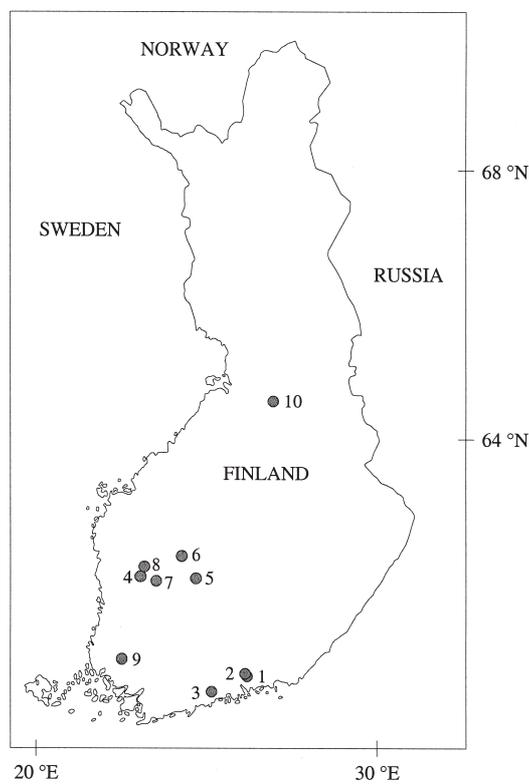
Käsillä olevassa julkaisussa esitellään osa Metsäntutkimuslaitoksen vanhojen ojitusalueiden varpu- ja puolukaturvekankaalle perustetuista männyn luontaisen uudistamisen koekentistä. Aineisto muodostuu pääosin eri koekenttien kertamittauksista, joissa tarkastellaan taimettumistulosta 4–16 kasvukauden kuluttua siemenpuuhakuusta ja maanmuokkauksesta. Koekentillä selvitetiin kevyen pintajyrskinnän sekä osittain myös mätästykseen vaikuttavasta männyn ja koivun luontaisen taimettumiseen. Osa koejärjestelyistä sisälsi muokkauksittelyn lisäksi myös lannoituksen. Tutkimus on ensimmäinen laajaan koekenttäaineistoon perustuva katsaus männyn luontaisen uudistamisen mahdollisuuksista karuilla turvekankailla. Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena oli muokkauksen ja pintakasvillisuuden yhdysvaikutuksen testaaminen. Pääpaino oli siis siinä miten muokkaus vaikuttaa männyn ja koivun taimettumiseen ojitusalueille luontaisen pintakasvillisuuden eri osakasvustoissa. Kasvillisuusvaikutuksen lisäksi testattiin myös turvepaksuuden, sekä osalla kokeista siemenpuiden vaikutusta taimettumiseen. Tarkastelu kohdentui eri taimettumispintojen kokonaistaimiheyksiin, jolloin uudistumistuloksen arviointi taimikon kasvatuskelpoisuuden ja laatuominaisuuksien näkökulmasta jätettiin vähemmälle huomiolle.

Taulukko 1. Kokeiden taustatietoja.

Table 1. Some basic data on the experiments.

Koe <i>Experiment</i>	Sijainti- kunta <i>Location</i>	Suo- tyyppi ¹⁾ <i>Site type ¹⁾</i>	Turve- kerros <i>Peat layer</i>	Ojitus- vuodet <i>Drainage years</i>	Siemenpuu- hakkuu <i>Seedtree cutting</i>	Maan- muokkaus <i>Soil preparation</i>	Lannoitus- vuosi <i>Fertilization year</i>	Mittaus- vuodet <i>Measure- ments</i>
1. Korsmalm	Lapinjärvi	Ptkg II	> 1,5	1938, -85	1984	Jyr 1985	PK 1986	1990
2. Sankasuo	Lapinjärvi	Ptkg II	> 1,5	1938, -85	1984	Jyr 1985	PK 1985	1990
3. Ruotsinkylä	Vantaa	Ptkg II	> 1,5	1933, -86	1986	Jyr 1986	-	1990
4. Häädetjärvi	Parkano	Ptkg II	> 1,5	1937, -86	1984	Jyr 1985	-	1990, -99
5. Jaakkoinen	Vilppula	Ptkg II	0,3	1909, -28, -83	1983	Jyr 1983	-	1992
6. Pihtisulku	Ähtäri	Vatkg	0,8	1930-39, -81	1981	Jyr 1981	-	1992
7. Liesineva	Parkano	Ptkg II	> 1,5	1936, -51, -86	1985	Jyr 1986	-	1992, -99
8. Tunkiosalo	Parkano	Vatkg	0,7	1963, -73	1986	Jyr 1987	NPK 1962, N -73	1992, -99
9. Leijansuo	Yläne	Vatkg	0,7	1921, -89	1989	Jyr, Mät, Kulo	-	1999/1989
10. Matokuru	Vaala	VSRmu	> 1,5	1930, -75, -90	1989	Mät 1990	-	1999

¹⁾ Suotyypit Laineen ja Vasanderin (1990) mukaan. — For the peatland forest site type explanations see Laine and Vasander (1990).



Kuva 1. Kenttäkokeiden sijainti

Fig. 1. Location of field experiments

Aineisto ja menetelmät

Koekentät ja niiltä kerätty aineisto

Tutkimusaineisto koostuu kymmenestä koekentästä (kuva 1, taulukko 1). Kokeet 1, 3–6 ja 10 oli alunperin perustettu metsänviljelyn ja luontaisen uudistamisen vertailukokeiksi, joihin luontainen uudistaminen oli istutus- ja kylvökäsittelyiden ohella arvottu lohkoittain. Nyt käsillä olevaan aineistoon sisällytettiin kustakin lohkosta vain luontaisen uudistamisen koelat. Loput neljä koetta oli perustettu pelkästään luontaisen uudistamisen muokkausmenetelmien vertailemiseen. Koetta 9 lukuunottamatta aineisto perustui näin ollen satunnaistettujen lohkojen koejärjestelyihin, joissa muokkaamaton ja muokkauksittely oli arvottu kokeesta riippuen 3–5 lohkoon. Tämän lisäksi kokeet 1 ja 2 oli edelleen ositett suometsien

PK-lannoksella (500 kg ha^{-1} , josta fosforia 9 % ja kaliumia 17 %) lannoitettuihin sekä lannoittamattomiin “osaruutuihin”. Kokeessa 9 muokkauskäsittely oli arvottu täydellisesti satunnaistetun koejärjestelyn periaattein viitenä toistona.

Aineiston mittaukset tehtiin kolmena eri ajankohtana, 1990, 1992 ja 1999. Kyseiset mittausajankohdat eivät kuitenkaan olleet kaikilla kokeilla samanaikaisesti toistettuja seurantamittauksia. Vuonna 1990 mitattiin kokeet 1–4. Näillä kokeilla mittaushetki edusti 4–6 kasvukauden jälkeistä tilannetta siemenpuuhakuun jälkeen (taulukko 1). Kaksi vuotta myöhemmin (1992) käytiin läpi kokeet 5–8. Kyseisissä tapauksissa siemenpuuhakuusta oli kulunut 6–10 kasvukautta. Vuonna 1999 oli mahdollista mitata edellä mainituista vain kokeet 4, 7 ja 8 (15, 14 ja 13 kasvukautta siemenpuuhakuusta) sekä uusina mittauksina vielä aiemmin mittaamattomat kokeet 9 ja 10 (11 ja 10 kasvukautta siemenpuuhakuusta). Jokainen koe mitattiin systemaattisesti määrävällein ruutujen ja osaruutujen läpi johdetuilta otantalinjoilta. Otantalinjoille asetettiin määrävällein havaintopisteitä, joiden ympäriltä havainnot tehtiin ($0,25 \text{ m}^2$:n, $1,0 \text{ m}^2$:n tai $10,0 \text{ m}^2$:n ympyräalat). Seuraavassa näitä koeruutujen sisäisiä havaintoyksiköitä kutsutaan näytealoiksi. Koeruutujen koosta ja näytealatiheydestä (otantalinjojen ja näytealojen väli 5–10 m) riippuen näytealoja kertyi 10–62 koeruutua (käsittely-yksikköä) kohden ja 138–642 koekenttää kohden.

Vuoden 1990 inventoinnissa (kokeet 1–4) taimet olivat valtaosin alle 20 cm :n mittaisia ja laskennassa otettiin mukaan kaikki näytealalta löydettyt männyn, kuusen ja koivujen taimet. Tässä inventoinnissa jyrstyneiden osaruutujen otantalinjoilla sallittiin määrävällein mitattujen näytealojen sijoittelussa 90° :n asteen sivupoikkeama otantalinjalta siten, että näyteala saatiin osumaan vaosta ja palteesta muodostuneeseen jyrstintäjälkeen. Näyteala oli kooltaan vain $0,25 \text{ m}^2$. Näin se saatiin edustamaan erikseen sekä jyrsinvakoja että jyrsinpalletta. Jyrsinvaon kapeuden ($20\text{--}30 \text{ cm}$) vuoksi näyteala käsitti vakopinnan lisäksi $40\text{--}50 \%$ vaon viereistä muokkaamatonta pintaa. Tämäkin tosin oli jyrstintälaitteen osittain rikkomaa sammalkasvustoa. Jyrsinpalle oli vakoa leveämpi ($50\text{--}60 \text{ cm}$), joten sille asetettu näyteala edusti kokonaisuudessaan muokattua pintaa. Muokkaamaton pinta

mukaan lukien kaikista kolmesta taimettumis-pinnasta luokiteltiin vallitsevan pohjakerroksen kasvillisuus yleisimmän lajin tai lajiryhmän mukaan viitenä luokkana: sammalpeitteetön karike- tai turvepinta sekä rahkasammal-, karhunsammal-, seinäsammal- ja kynsisammalvaltainen pinta. Muokkaus- ja kasvillisuusvaikutusta sekä näiden yhdysvaikutusta testanneissa malleissa edellä kuvatut pohjakerroksen kasvillisuusluokat yhdistettiin siten, että kangassammal- ja karikepinnat edustivat kuivumissukcession turvekangasastetta ja karhunsammal- sekä rahkasammalpinnat vastaavasti sukcession muuttuma-astetta.

Vuonna 1992 (kokeet 5–8) alle 10 cm:n mitaiset sirkkataimet laskettiin 1 m²:n näytealoilta. Tällöin otettiin käyttöön myös samankeskiset 10 m²:n näytealat, joilta laskettiin kaikki yli 10 cm:n taimet. Muokkausjälki oli useimmissa tapauksissa siinä määrin kasvillisuuden peittävä, ettei sen osuutta näytealasta ollut tarkasti määritettävissä. Pohjakerroksen kasvillisuus luokiteltiin kuten vuoden 1990 inventoinnissa mutta lisäksi otettiin mukaan kenttäkerroksesta seuraavat lajiryhmäluokat: suovarpu-, kangasvarpu-, heinä-, tupasvilla- ja saravaltaiset näytealat. Suovarvut koostuivat pääasiassa suopurusta, juolukasta ja vaivaiskoivusta ja kangasvarvut vastaavasti mustikasta, puolukasta ja kanervasta. Mainitut kenttäkerroksen lajiryhmät yhdistettiin varpuvaltaisiin ja toisaalta tupasvilla-pallosaravaltaisiin luokkiin. Kasvillisuusluokituksen lisäksi mitattiin näytealalta turvekerroksen paksuus ja näytealan etäisyys lähimpään siemenpuuhun.

Vuonna 1999 (kokeet 4 ja 7–10) laskettiin vain yli 10 cm:n taimet 10 m²:n näytealoilta. Kasvillisuus otettiin edellisiä inventointeja tarkemmin huomioon ja koko lajisto mitattiin peittävyysnä aarin näytealalle systemaattisesti sijoitetulta neljältä 1 m²:n ruudulta. Heinät, sarat, saniaiset ja rahkasammalet yhdistettiin lajiryhmiksi. Muut mitattiin lajikohtaisesti. Jatkokäsittelyä varten laskettiin aarin näytealalle laji- ja lajiryhmäpeittävyudet neljän 1 m²:n kasvillisuusruudun keskiarvoina.

Kuusen taimia esiintyi kaikissa inventoinneissa vain satunnaisesti ja vähäisen kokonaisu-määrän vuoksi ne jätettiin aineiston jatkokäsit-

telyn ulkopuolelle. Koivun taimien lajikohtainen erottelu osoittautui siinä määrin työlääksi ja lehdettömään aikaan osin epävarmaksikin, että raudus- ja hieskoivut esitellään seuraavassa vain kollektiivisesti koivuina.

Taimitiheyden määrittämisen lisäksi tehtiin luokittelu taimissa esiintyneistä vioista. Vuoden 1990 inventoinnissa otettiin huomioon vain edellisen vuosikymmenen aikana poikkeuksellisen yleisen versosurman eli surmakan esiintyminen. Vuosina 1992 ja 1999 otettiin käyttöön vikaisuusluokitus, jossa huomioitiin haaroittuneisuus, ranganvaihdokset, merkittävä neulasmassan ruskettuminen ja kuolleisuus. Mainituille ilmiasuille pyrittiin mahdollisuuksien mukaan määrittämään aiheuttaja seuraaviin tekijöihin luokiteltuina: hirvi, karisteet ja ruosteet, hyönteisvioletummat ja jälkiversonta sekä lisäksi tunnistamatta jääneiden aiheuttajien luokka. Eri tavoin vioittuneiden taimien osuus todettiin kuitenkin pieneksi (alle 5 % taimista) tai niiden merkityksen katsottiin olevan vähäinen taimien jatkokehityksen näkökulmasta. Kaiken kaikkiaan erilaisten vikaisuusien perusteellisempi tarkastelu päätettiin rajata pois tämän tutkimuksen aihepiiristä.

Aineiston käsittelymenetelmät

Vuoden 1999 inventoinneissa mitattujen laji-peittävyyksien ja taimettumisen välistä yhteisvaihtelua havainnollistettiin ja analysoidtiin ei-metrisellä moniulotteisella skaalauksella (NMDS). NMDS on menetelmä, joka tämän aineiston tapauksessa pyrkii esittämään näytealojen väliset kasvillisuuden erot mahdollisimman hyvin yksi- tai useampiulotteisessa avaruudessa. Ei-metrinen skaalaus perustuu näytealojen välisten erilaisuuksien järjestyslukuihin, esittäen näytealojen järjestyksen havainto-avaruudessa. Näin ollen NMDS on sopiva ordinaatiomenetelmä aineistoille, jotka eivät jakaudu normaalisti, vaan ovat epäjatkuvia tai muuten skaalaltaan epämääräisiä. NMDS on todettu olevan paras ordinaatiomenetelmä erityisesti kasvillisuusgradienttien kuvaamiseen (Minchin 1987). Tämän aineiston käsittelyssä skaalaus tehtiin PC-ORD ohjelmalla, joka soveltaa ns. globaalia moniulotteista skaalausta

(GNMDS) (McCune & Mefford 1999). Skaalausksessa laskettiin 2–3 -ulotteiset ratkaisut käyttäen 50:tä satunnaisaloitusta kullekin ulottuvuudelle. Taimitiheyden ja kasvillisuuden lajipeittävyksien välistä riippuvuutta tarkasteltiin taimitiheyden ja ordinaatioavaruuden maksimikorrelaationa. Rotatoimalla (Varimax rotation) ordinaatioavaruutta haettiin sellainen kasvillisuuden vaihteluun, jossa taimitiheyden ja ordinaation välinen korrelaatio oli suurimmillaan. Pintakasvillisuuden kuvausta varten skaalaus tehtiin koekenttään muokatut ja muokkaamattomat näytealat samassa ordinaatioissa erikseen luokiteltuina.

Taimitiheyttä selittävien mallien vastemuuttujana oli taimien kappaleluku näytealalla. Tyhjä tai hyvin vähän taimia sisältävät näytealat olivat runsaslukuisimpia, kun taas suurimpien taimimäärien havaintofrekvenssit lähestyivät nollaa. Näin ollen vastemuuttuja oli Poisson-jakautunut. Tällaisen havaintoaineiston analysoinnissa yleinen lähestymistapa olisi normalisoida jakauma esim. neliöjuurimuunnoksella (esim. Snedecor & Cochran 1989). Mallin lineaarisuuteen mahdollisesti syntyvien vääristymien ja kappalemääräisen vasteen negatiivisten ennustearvojen välttämiseksi suositellaan kuitenkin yleistetyn lineaarisen mallin käyttöä aineistoon sopivalla linkkifunktiolla (Littel ym. 1996). Koska koejärjestelyissä kiinteä ruututekijä (muokkaus) ja osaruututekijä (lannoitus) oli satunnaistettu ositettuihin lohkoihin, sovellettiin samalla sekamallia. Tämä yleistetty lineaarinen sekamalli (generalized linear mixed model) toteutettiin logaritmisella linkkifunktiolla käyttäen SAS ohjelmistopakettin Glimmix-makrolla (Littel ym. 1996). Tällöin muokkauksen ja lannoituksen vaikutuksia testaavan mallin rakennekaava oli esitettävissä seuraavasti:

$$\eta_{ijk} = \log(\lambda_{ijk}) = m + r_i + \tau_j + (r\tau)_{ij} + \delta_k + (\tau\delta)_{jk}$$

missä

η_{ijk} = ennustearvo taimien lukumäärälle osaruudussa ijk ,

λ_{ijk} = ehdollinen odotusarvo annetuilla satunnaistekijöillä,

m = yleiskeskisarvo kaikista havainnoista,

r_i = lohkon i vaikutus (lohkotekijä),

τ_j = pääruutukäsittelyn (muokkaus) päävaikutus,

$(r\tau)_{ij}$ = virhetermi pääruututasolla (lohko \times muokkaus yhdysvaikutus),

δ_k = osaruutukäsittelyn (lannoitus) päävaikutus,

$(\tau\delta)_{jk}$ = pää- ja osaruutukäsittelyiden yhdysvaikutus (muokkaus \times lannoitus).

Mallissa lohkotekijä sekä pääruututason virhetermi (lohkon ja muokkauksen yhdysvaikutus) olivat mallin satunnaistekijöinä.

Kasvillisuuden vaikutusta kuvaavina tekijöinä olivat vuosien 1990 ja 1992 aineistoissa aiemmin kuvatut vallitsevan kasvillisuuspinnan luokat, mutta vuoden 1999 aineistossa koekenttään tehdyn kasvillisuusordinaation ja taimitiheyden maksimikorrelaatiota vastaavat koordinaattipisteet. Kasvillisuusordinaation ja taimitiheyden maksimikorrelaatioita tarkasteltiin myös muokkauksittelyittäin tekemällä skaalaus koekenttään erikseen muokkaamattomien ja muokattujen ruutujen näytealoille. Muokkaus- ja kasvillisuusvaikutusta sekä niiden yhdysvaikutusta testaava malli satunnaistekijöineen (lohko ja lohko \times muokkaus) vastasi edellä esitettyä rakennetta siten että lannoitustekijän tilalla oli kasvillisuustekijä. Tällöin:

η_{ijk} = ennustearvo taimien lukumäärälle näytealalla ijk ,

δ_k = kasvillisuuden päävaikutus,

$(\tau\delta)_{jk}$ = pääruutukäsittelyn (muokkaus) ja kasvillisuuden yhdysvaikutus.

Mallilla siis testattiin kiinteiden käsittelytekijöiden sisällä (ruuduissa) ilmenevää kasvillisuuden aiheuttamaa vaihtelua. Kiinteiden tekijöiden (muokkaus ja lannoitus) vaikutus estimoitiin ruututasolta toisistaan riippumattomina havaintoina (satunnaistekijänä lohko sekä lohkon ja kiinteän tekijän yhdysvaikutus). Kasvillisuustekijä oli näytealatasolla mallissa mukana siten että näytealat ruudun sisällä huomioitiin toisistaan riippuvina.

Vuosien 1992 ja 1999 mittausaineistossa huomioitiin turvepaksuuden vaikutus yhtenä taimettumiseen vaikuttavana taustamuuttujana. Sen vaikutus testattiin yleistetyssä lineaarisessa sekamallissa yhdessä muokkaus- ja kasvillisuusvaikutuksen kanssa sekä erikseen muokkausvaikutuksen kanssa, jolloin otettiin mukaan myös muokkauksen ja turvepaksuuden yhdys-

vaikutus. Vuoden 1992 aineistossa testattiin samalla periaatteella myös siemenpuiden etäisyyden vaikutus. Niille kokeille, joissa vaikutus tuli merkittävänä esiin, laadittiin erikseen Marquardt-Levenberg algoritmiin (Marquardt 1963, Press ym. 1986) perustuva regressiosovitus siemenpuiden etäisyyden ja taimitiheyden välisestä riippuvuudesta seuraavan yhtälön muodossa:

$$D_i = a(1 - e^{-bs_i}), \text{ jossa}$$

D_i = taimitiheys näytealalla i .

a = keskimääräinen taimitiheys, joka saavutetaan siemenpuuvaikutuksen ulkopuolella.

b = siemenpuun taimitiheyttä alentavan vaikutuksen voimakkuutta kuvaava parametri.

s_i = näytealan i etäisyys lähimmästä siemenpuusta.

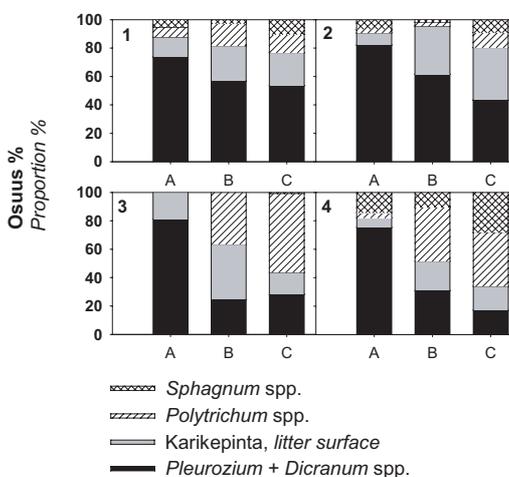
Tulokset

Pintakasvillisuus

Koekentät 1–4 vuonna 1990

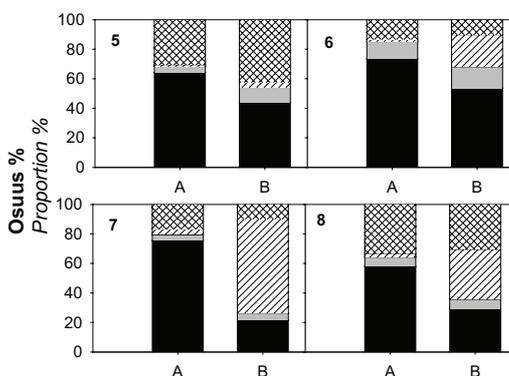
Koekentillä 1–4 muokkaamaton pohjakerros oli puolukkaturvekankaille tyypillinen. Vähintään 80 % näytealoista oli seinäsammalien, kynsisammalien tai sammalpeitteettömän karikkeen vallitsemaa turvekangaspintaa (kuva 2). Eniten kosteita rahkasammalvaltaisia pintoja oli kokeella 4 (15 %). Koe 3 oli kokonaisuudessaan turvekangaspintaa.

Jyrsintäjäljet (palteet ja vaot) olivat jo 4–5 kasvukauden ikäisiä ja 60–85 % niistä oli sammalkasvustojen vallitsevia. Kokeella 1 kangassammaleiden osuus palteissa ja vaoissa oli suurimmillaan ja jyrsintäjälkien kasvillisuusjakauma poikkesi vain vähän muokkaamattomasta pohjakerroksen kasvillisuudesta. Muilla kokeilla jyrsintäjäljet erottuivat selvemmin joko sammalpeitteettömänä karikepintana tai karhunsammalkasvustoina (pääosin kytökarhunsammalkasvustoja). Kokeilla 3 ja 4 jyrsintäjälkien kasvillisuus poikkesi eniten muokkaamattomista pinnoista. Karhunsammalia oli runsaasti etenkin kokeella 3. Muokkaamattoman kasvillisuuden rahkasammalien yleisyys kokeella 4 näkyi myös jyrsintäjäljissä ja varsinkin vaoissa rahkasammalvaltaisten pintojen osuus oli lähes kolmannes.



Kuva 2. Kokeiden 1–4 kasvillisuuden pohjakerroksessa vallitsevien kasvillisuusluokkien jakauma (A) muokkaamattomilla pinnoilla, (B) jyrsintäpalteissa ja (C) jyrsintävaoissa.

Fig. 2. Distribution of the vegetation classes prevailing in ground layer in experiments 1–4: (A) on unprepared surfaces, (B) rotavated tilt, (C) rotavated furrows.

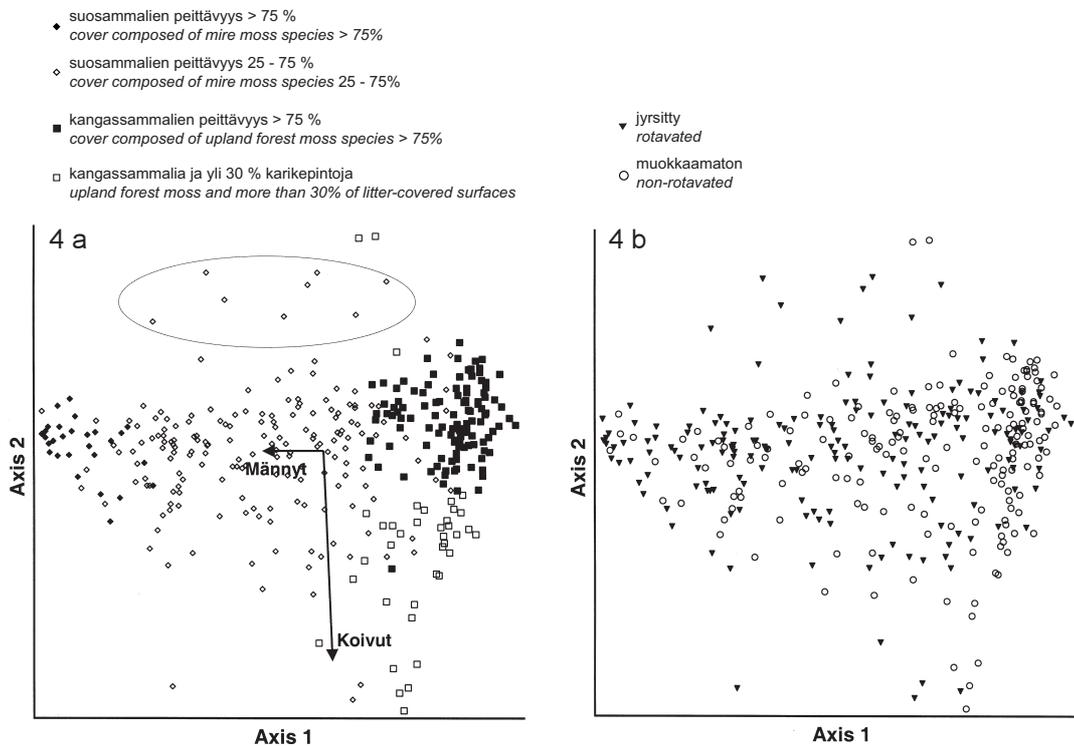


Kuva 3. Kokeiden 5–8 kasvillisuuden pohjakerroksessa vallitsevien kasvillisuusluokkien jakauma (A) muokkaamattomilla koealoilla ja (B) jyrsityillä koealoilla. Pylväiden värit samat kuin kuvassa 2.

Fig. 3. Distribution of the vegetation classes prevailing in ground layer in experiments 5–4: (A) in unprepared and (B) rotavated plots. See legend fills from Fig. 2.

Koekentät 5–8 vuonna 1992

Koekenttien 5, 6 ja 7 muokkaamattomassa pohjakerroksessa suosammalia oli enintään 25 % (kuva 3). Kokeella 8 rahkasammalvaltaisia kas-



Kuva 4. (a) Kokeiden 4, 7 ja 8 kaikkien näytealojen GNMDS -ordinaatio pohjakerroksen kasvillisuuden ja (b) muokkauskäsittelyn mukaan luokiteltuna. Kokeen 7 voimakkaasti muokattujen jyrsinpintojen kytökarhunsammalvaltaiset näytealat ympäröity (tarkemmin tekstissä). Männyn ja koivun taimitiheyksien ja ordinaation väliset maksimikorrelaatiot vektoriesityksenä.

Fig. 4. (a) GNMDS ordination of all sample plots categorised by ground vegetation classes and (b) by site preparation in Experiments 4, 7 and 8. Sample plots on heavily rotated and *Polytrichum*-dominated surfaces in Experiment 7 are indicated by a circle. The maximum correlations between the ordination space and the seedling density of pine and birch are presented as vectors.

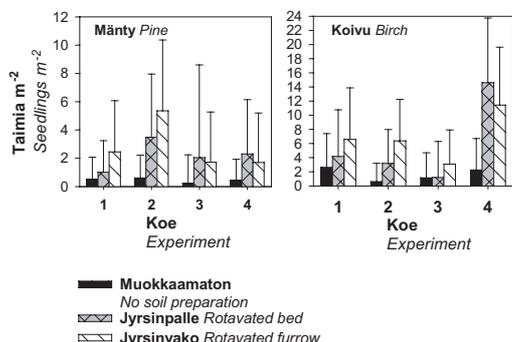
vustoja oli lähes kolmannes. Jyrsintäjälkien kasvillisuusjakauma poikkesi muokkamattomasta kasvillisuudesta eniten kokeilla 7 ja 8. Edellisellä jyrsintä oli tehty voimakkaammin kuin muilla kokeilla. Vaot ja palteet olivatkin suurelta osin yhä selvästi näkyvissä. Tällöin ne olivat enimmäkseen kytökarhunsammalien vallitsevia.

Kokeen 5 puolukkaturvekankaalle oli ominaista lähes kaikkialle levinnyt tupasvillakasvusto. Tämä oli tyypillistä myös huomattavalle osalle koetta 7. Vaikka tämänkin kokeen tapauksessa oli kyse valtaosin puolukkaturvekankaasta esiintyi suopursua ja vaivaiskoivua yleisesti turvekankaan seinäsammalvaltaisillakin pinoilla. Kokeille 6 ja 8 oli luonteenomaista varputurvekankaalle tyypilliset suopursun, vaivaiskoivun, kanervan ja puolukan peittämät seinäsammalkasvustot, kun taas

vielä suosammalien vallitsemassa kasvillisuudessa kenttäkerros jakaantui joko suovarpu- tai tupasvillavaltaisiin kasvustoihin. Osalla turvekankaan seinäsammalpinnoistakin tupasvilla ja pallasara olivat vallitsevia.

Koekentät 4 ja 7–10 vuonna 1999

Koekentillä 4, 7 ja 8 aluskasvillisuuden päävaihteluun osoittautui vaihtelu ojitussuknessiassa (kosteudessa). Tämän suknessigradientin alkupään suokasvivaltaisimmat näytealat (suosammalien osuus yli 75 %) sijaitsivat kyseisille kokeille yhteisesti skaalatussa ordinaatiogrammissa vasemmalla (kuva 4a). Turvekangasasteelle edenneet näytealat (suosammalia alle 25 %) si-

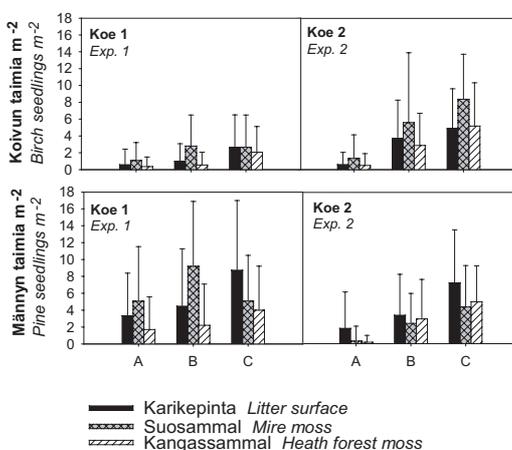


Kuva 5. Jyrsinnan vaikutus männyn (*Pinus sylvestris*) ja koivujen (*Betula pubescens* & *B. verrucosa*) taimettumiseen kokeilla 1–4 (mittaus vuonna 1990).

Fig. 5. The effect of rotavation on the emergence of Scots pine (*Pinus sylvestris*), downy birch and silver birch (*Betula pubescens* & *B. verrucosa*) seedlings in Experiments 1–4 (measured in 1990).

joittuivat oikealle. Nämä sukkessiogradientin loppupään havainnot jakautuivat osittain sammalpeitteetömiin karikepintoihin (karikepintaa yli 30 %) ja toisaalta lähes kokonaan kangassammalpeitteisiin näytealoihin (karikepintaa alle 30 %). Ensin mainituille näytealoille oli tyypillistä, että suosammalet olivat pääosin kadonneet, mutta myös kangasmaiden sammalajiston osuus oli vähäinen. Jyrsintä- ja mätätyskäsitteilyiden kohdalla tässä tapauksessa oli kyse myös muokkauksessa paljastuneista turvepinnoista, jotka myöhemmin olivat peittyneet karikkeilla ja osittain kangassammal-kasvustoilla.

Muokkauksesta kuluneen 14–16 vuoden aikana kehittynyt pintakasvillisuus oli peittänyt useimmat jyrsinvaot ja -palteet lähes kokonaan. Jyrsittyjen koealojen kasvillisuus ja sen jakauma ordinaatioissa oli samankaltainen kuin muokkaamattomien (kuva 4b). Ainoastaan kokeen 7 voimakkaasti muokatut kytökarhunsammalvaltaiset jyrsintäpinnat erottuivat diagrammissa suuntaisesti muiden näytealojen yläpuolelle (4a). Myös koekenttien välinen vaihtelu oli vähäistä ja edellä kuvattua kokeen 7 poikkeavuutta lukuun ottamatta eri kokeiden näytealat jakautuivat ordinaatiodiagrammiin tasaisesti ilmentäen samoja päävaihteluun.

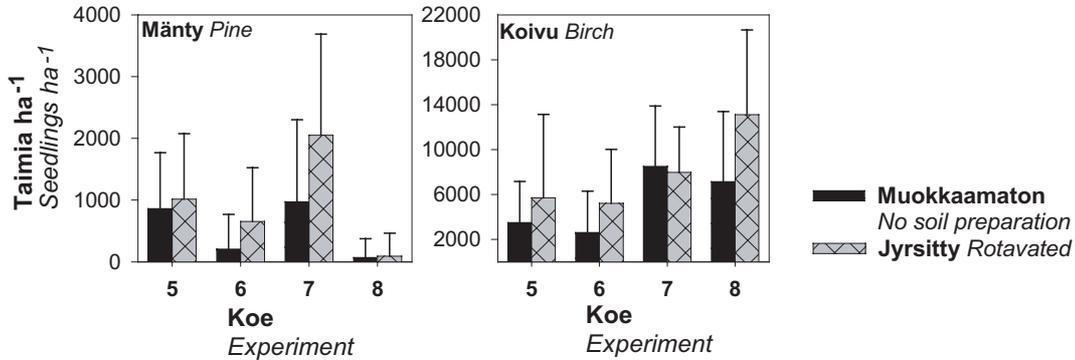


Kuva 6. Kokeiden 1 ja 2 pohjakerroksessa vallitsevien kasvillisuusluokkien vaikutus männyn (*Pinus sylvestris*) ja koivujen (*Betula pubescens* & *B. verrucosa*) taimettumiseen (A) muokkaamattomilla pinnoilla, (B) jyrsintäpalteissa ja (C) jyrsintävaissa.

Fig. 6. Effect of the vegetation classes predominating in the ground layer of Experiments 1 and 2 on the restocking of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and birches (*Betula pubescens* & *B. verrucosa*) on (A) non-prepared surface (B) rotavated tilts, and (C) rotavated furrows

Koekenttä 9 poikkesi kasvillisuusrakenteeltaan olennaisesti edellisistä, eikä näin ollen ollut yhdistettävissä samaan ordinaatioesitykseen. Kuivaus on sillä ollut erittäin tehokas, pohjakerroksen edustaessa lähes pelkästään turvekankaan kasvillisuutta. Tämän vuoksi kyseisestä kokeesta tehdyssä erillisessä kasvillisuusordinaatioissa ei rakkasammalkasvustojen puuttuessa esiintynyt kuivumissukessiota kuvaavaa gradienttia. Sen sijaan tälläkin kokeella erottui selkeänä turvekankaan sammalajiston peitteellisyttä kuvaava gradientti karikepinnoista seinäsammal- ja kynsisammalvaltaisiin pintoihin.

Kokeen 10 muokkaamattomat pinnat olivat enimmäkseen seinäsammaleista mustikkaturvekangasta lukuunottamatta sarkojen keskiosia, joissa esiintyi myös rakkasammalvaltaisia kasvustoja. Kenttäkerros jakautui varpu- ja sarakasvustoihin. Jälkimmäiset olivat enimmäkseen pallosaraa. Saraturpeesta muodostuneet mättäät olivat osin edelleen turvepintaisia, mutta pääosin joko karikkeen tai kytökarhunsammalen peittämiä.



Kuva 7. Jyrsinnän vaikutus männyn ja koivujen taimettumiseen kokeilla 5–8 (mittaus vuonna 1992).

Fig. 7. The effect of rotavation on the emergence of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pubescens* & *B. verrucosa*) seedlings in Experiments 5–8 (measured in 1992).

Taimitiheydet

Koekentät 1–4 vuonna 1990

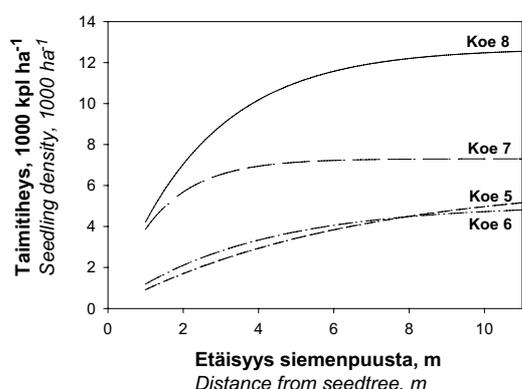
Jyrsinjäljessä vako oli erityisesti koivulle paras taimettumisalusta (kuva 5). Osittain tämä kuitenkin riippui sammalkasvustosta, sillä sammallajilla ja muokkausjäljellä oli merkitsevä yhdysvaikutus koivun taimitiheyteen kokeilla 1 ja 2 (kuva 6, taulukko 2). Koivujen taimia oli eniten sammalpeitteettöminä säilyneillä (karikepintaisilla) vakopinnoilla. Vastaavaa yhdysvaikutusta ei ilmennyt männyn taimilla mutta sen sijaan kokeiden 1 ja 2 muokkausjäljellä ja vallitsevalla sammallajilla oli kummallakin merkitsevä päävaikutus (kuva 6 ja taulukko 2). Männyn taimia oli eniten suosammalkasvustoissa (karhunsammalet ja rahkasammalet) sekä muokkaamattomilla että jyrsityillä pinnoilla. Muokkauspinnoista erityisesti vaot olivat sammalpeitteestä riippumatta muokkaamattomia kuivia turvekangaspintoja paremmin taimettuneita.

Kokeiden 1 ja 2 koejärjestelyyn kuuluneen PK-lannoituksen vaikutus taimettumiseen riippui muokkausjäljellä. Lannoituksella ja muokkausjäljellä oli merkitsevä yhdysvaikutus kokeen 1 männyn ($p=0,0482$) ja kokeen 2 koivun ($p=0,0311$) taimettumiseen. Männyllä lannoitus heikensi jyrsinnän taimettumista lisäävää vaikutusta (koe 1), kun taas koivun taimettuminen jyrsintäjäljissä oli parempi lannoitettuna kuin lannoittamattomana (koe 2).

Koekentät 5–8 vuonna 1992

Kokeilla 6 ja 8 muokkauksen ja sammalkasvillisuuden välinen yhdysvaikutus männyn yli 10 cm:n mitaisten taimien tiheyden oli merkitsevä (taulukko 2), sillä muokkausvaikutus riippui turvekangassukcessiosta. Muokkaamaton rahkasammalpinna oli taimettunut karike- ja seinäsammalkasvustoja paremmin, jolloin jyrsinnän taimettumista edistävä vaikutus tuli esiin vain turvekangaspinnoilla. Kokeella 7 jyrsintä oli tehty selvästi voimakkaammin kuin muilla kokeilla. Huomattavalta osin jyrsinvaot ja -palteet olivat yhä selvästi nähtävissä. Tällöin ne olivat enimmäkseen kytökarhunsammalen peittämiä. Kytökarhunsammalpinnaiset jyrsintäjäljet olivat ainoita jyrsintäjälkiä, joilla männyn taimettuminen oli merkitsevästi ($p<0,0001$) muokkaamattomia turvekangaspintoja parempi. Niiden taimettuminen oli myös parempi kuin heikoimmin onnistuneissa, pinnallisemmissa ja myöhemmin pääasiassa seinäsammalien peittämissä jyrsintäjäljissä. Sammalkasvillisuuden vaikutus oli tämän vuoksi merkitsevä ilman muokkauksen yhdysvaikutusta (taulukko 2).

Koivun taimitiheys oli muokkaamattomilla rahkasammalpinnoilla kuivia turvekangaspintoja suurempi kaikilla kokeilla. Muokkaus oli lisännyt koivun taimitiheyttä kokeella 6 ja 8 (kuva 7), mutta edellisellä vain turvekangaspintoihin verrattuna ilmeten muokkauksen ja sammalkasvilli-



Kuva 8. Koivun taimitiheyden riippuvuus mäntysiemenpuuiden etäisyydestä kokeilla 5–8.

Fig. 8. The correlation between the number of birch seedlings and the location of Scots pine seed trees in Experiments 5–8.

suuden merkittävänä yhdysvaikutuksena (taulukko 2).

Koe 8 oli aiemmin toiminut lannoituskokeena, joka vuonna 1962 lannoitettiin suometsien Y-lannoitteella (600 kg ha^{-1} , josta 16 % typpeä, 20 % fosforia ja 8 % kaliumia) ja lisäksi jatkolannoitettiin Y-lannoitteella vuonna 1973 (1000 kg ha^{-1} , josta 10 % typpeä, 12 % fosforia ja 6 % kaliumia). Lannoituksella ja turpeen paksuusvaihtelulla ei kuitenkaan ollut vaikutusta taimimääriin. Sen sijaan mäntysiemenpuut vaikuttivat koivun taimitiheyteen. Kuvassa 8 on esitetty regressiosovitus siemenpuuiden etäisyyden ja koivun taimitiheyden välisestä riippuvuudesta. Siemenpuut alensivat taimitiheyttä enimmillään noin 5–6 metrin etäisyydelle. Tämä riippuvuus oli tilastollisesti merkittävä kuitenkin vain kokeella 8, jossa havaintojen lukumäärä ($n=466$) oli kokeilla 5, 6 ja 7 huomattavasti suurempi. Taimitiheyksien vaihtelu oli suurta mallin $D_i = 13.3(1 - e^{-0.37s_i})$ selittäessä kokeen 8 taimitiheyden kokonaisvaihtelusta vain 12 % ($F=63.41$, $p<0.0001$, $r^2=0.12$, $n=466$).

Ennen uudistamistoimenpiteitä syntyneitten yli 10 cm:n mittaisten männyn taimien osuus oli hyvin vähäinen (kuva 9). Tämä voi osittain johtua taimien ikämääriyksissä syntyneistä aliarvioista. Koska taimet olivat saavuttaneet 10 cm:n mitan keskimäärin kolmessa kasvukaudessa, olivat nuorimmat tässä mittauksessa havainnoidut taimet syntyneet vuonna 1990 (mittaus syksyllä 1992).

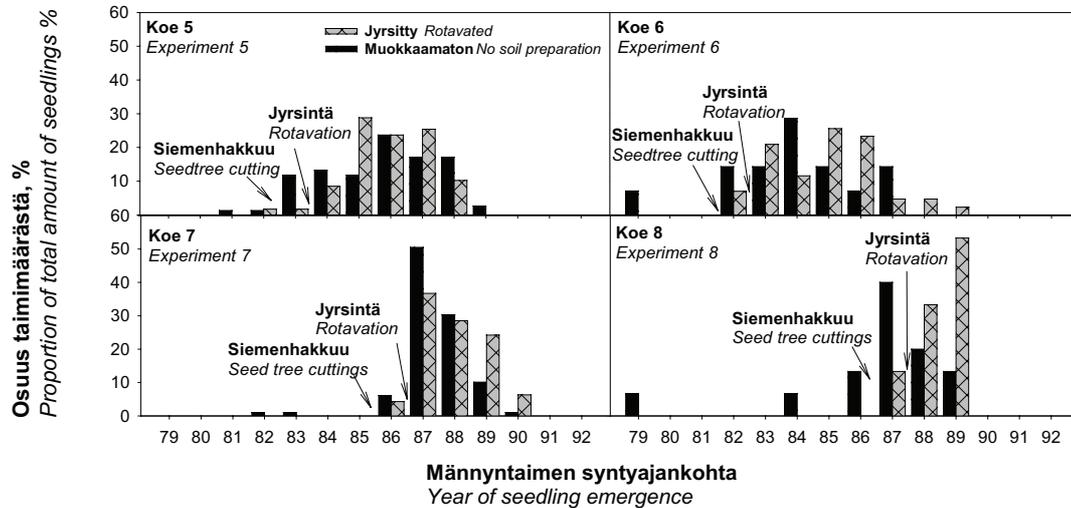
Vanhimmilla koekentillä (kokeet 5 ja 6) taimikon syntyminen oli ajoittunut hakkuun jälkeiseen 6–7 vuoden mittaiseen ajanjaksoon ja uusien taimien synty on ollut mittaushetkellä jo varsin vähäistä.

Koekentät 4 ja 7–10 vuonna 1999

Jyrsinkäsittelyllä oli pintakasvillisuudesta riippumaton merkittävä vaikutus männyn taimitiheyteen ainoastaan kokeissa 4 ja 9 ja mätästykseällä kokeissa 9 (kuva 10, taulukko 2). Kasvillisuuden ja muokkauksen yhdysvaikutus oli merkittävä kokeella 7. Muokkauksella ei ollut merkittävää päävaikutusta koivun taimettumiseen millään vuoden 1999 inventoinnin kokeista. Sen sijaan kokeilla 4, 9 ja 10 muokkausvaikutus ilmeni kasvillisuudesta riippuvana yhdysvaikutuksena.

Kaikkia kolmea jyrsintäkäsittelykoetta (4, 7 ja 8) yhdessä esittävässä kasvillisuusordinaatiossa männyn taimien lukumäärä lisääntyi siirryttäessä vasemmalle kohti suosammalvaltaisia kasvillisuuspintoja (kuva 4a). Koivun taimien määrä puolestaan lisääntyi ordinaatioissa alaspäin sellaisten turvekangaspintojen suuntaan, joilla sammalpeitteettömien karikepintojen osuus oli suurimmillaan. Kummankin puulajin taimimäärien ja ordinaatioavaruuden väliset maksimikorrelaatiot olivat kuitenkin varsin heikkoja (mänty $r = 0.160$ ja koivu $r = 0.308$) vaikkakin havaintojen suuren lukumäärän ($n = 361$) vuoksi tilastollisesti merkittäviä.

Taimimäärien ja ordinaatioavaruuden väliin riippuvuuksiin sisältyi runsaasti koekenttien ja muokkauksenkäsittelyiden välistä vaihtelua. Kokeella 4 männyn taimien määrä lisääntyi jyrsityillä koealoilla merkittävästi ($r = 0.673$, $n = 41$) rahkasammalvaltaisten näytealojen suuntaan, kun taas muokkaamattomilla ruuduilla samansuuntainen riippuvuus oli heikompi ($r = 0.274$, $n = 37$). Erotuksena kokeisiin 6 ja 8, jyrsinnän taimia lisäävä vaikutus oli suurimmillaan rahkasammalvaltaisilla ja pienimmillään turvekangaspinnoilla. Rahkasammalpintaan tehdyn jyrsintäjäljen herkkä taimettuminen tuli tällä kokeella 4 voimakkaammin esiin muokkaamattomien rahkasammalpintojen taimettumisen ollessa heikompa suhteessa turvekangaspintoihin. Tämä muokkauksen ja kasvillisuuden yhdysvaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkittävä. Sen sijaan sekä muokkauksen että kasvillisuusvaihtelun toisistaan riippumattomat



Kuva 9. Männyn taimien ikäjakaumat, sekä siemenpuuhakkuun ja muokkauksen ajankohdat kokeilla 5–8.

Fig. 9. The age distribution of pine seedlings and the points in time of regeneration felling and soil rotavation in Experiments 5–8.

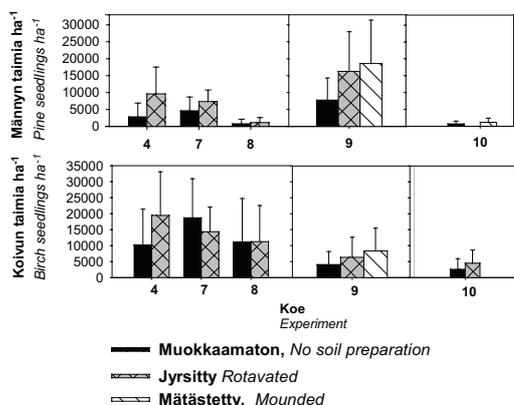
päävaikutukset olivat merkitseviä (taulukko 2). Koivun taimien määrä lisääntyi merkitsevästi karikemäisillä sisäosilla olevien näytealojen suuntaan sekä muokkaamattomilla ($r = 0.552$, $n = 37$) että jyrsityillä ($r = 0.522$, $n = 41$) ruuduilla. Koivun taimia oli runsaasti myös kosteiden rakkasammalpintojen jyrsintäjäljissä, mikä ilmeni kasvillisuuden ja muokkauksen merkitsevänä yhdysvaikutuksena.

Kokeella 7 jyrsinnän ja kasvillisuuden yhdysvaikutus männyn taimitiheyteen ilmeni ordinaatioissa taimitiheyden lisääntymisenä muokkaamattomilla pinnoilla rakkasammalvaltaisten näytealojen suuntaan ($r = 0.442^{**}$, $n = 47$) ja jyrsityillä ruuduilla puolestaan kohti kytökarhunsammalvaltaisia näytealoja ($r = 0.347^{**}$, $n = 48$). Kuten vuoden 1992 mittauksessa, jyrsinnän vaikutus tuli siis esiin vain niissä muokausjäljissä, jotka mitaushetkellä olivat harvan kytökarhunsammalkasvuston peitossa erotuksena heikosti jyrsityistä ja seinäsammal- ja tupasvillan peittämistä muokausjäljistä. Koivun taimitiheyden ja muokkaamattoman pintakasvillisuuden korrelaatio oli merkitsevä ($r = 0.376$, $n = 47$) suuntautuen rakkasammal- ja karikemäisyyden suuntaan (ordinaatioissa näiden kahden kasvillisuusgradientin väliin vasemmalle alas). Jyrsityillä koealoilla korrelaatio oli myös merkitsevä ($r = 0.361$, $n = 48$) suuntautuen enem-

män karike- ja seinäsammalpintoihin. Koivutiheys siis oli suurimmillaan niillä seinäsammal- ja tupasvillan peittämällä jyrsintäpinnoilla, joilla männyn taimitiheys oli pienimmillään. Tällaisia jyrsintäpinnoita esiintyi niillä lohkoilla, joissa jyrsintä oli onnistunut heikoimmin ja koivun vesasyntyisten taimien määrä näytti olevan muita lohkoja suurempi.

Kokeella 8 taimettuminen oli heikosti onnistunut. Kuten samalla kokeella vuonna 1992 tehdystä mittauksesta, eivät jyrsintäkäsittelyn männyn taimimäärät nytkään poikenneet muokkaamattomien pintojen taimimäärästä. Aiemmin muokkauksella ja pohjakerroksen sammalajistolla oli kuitenkin merkitsevä yhdysvaikutus (taulukko 2) muokkausvaikutuksen ilmetessä vain seinäsammal- ja kytökarhunsammalpinnoilla. Tässä mittauksessa (1999) ei yhdysvaikutustakaan enää ollut, mikä voi osin johtua kasvillisuuden erilaisesta mittaustavasta.

Kokeessa 9 sekä männyn että koivun taimitiheydet korreloivat merkitsevästi (mänty: $r = 0.257$, $n = 174$ ja koivu: $r = 0.302$, $n = 174$) ordinaatioavaruuden kanssa. Männyn taimitiheys lisääntyi seinä- ja kytökarhunsammalpinnoista kohti sammalpeitteettömiä karike- ja muokkauspinnoita. Tähän olivat etupäässä vaikuttamassa vielä sam-



Kuva 10. Muokkauksen vaikutus männyn- ja koivun taimettumiseen kokeilla 4, 7, 8, 9 ja 10 (mittaus vuonna 1999).

Fig. 10. The effect of site preparation on the emergence of Scots pine and birch seedlings in Experiments 4, 7, 8, 9, and 10 (measured in 1999).

malpeitteettömät mätäspinnat, mutta sama oli nähtävissä myös jyrityillä aloilla. Käsittelykohtainen männyn taimitiheyden ja ordinaatioavaruuden korrelaatio oli kuitenkin merkitsevä vain mätästetyillä koealoilla ($r = 0.406$ $n=52$). Tämä johtui siitä, että mätäspinnat olivat vielä pääosin sammalpeitteettömiä ja taimien esiintyminen painotui näille vain karikkeiden peittämille turvepinnoille. Jyrsintäjälkien peittävyys oli mätästyskäsitteilyä huomattavasti pienempi ja jyrityillä koealoilla esiintyi myös muokkaamattomia turvekankaan karikkepintoja. Nämä yhdessä sammalpeitteettömiä jyrityillä koealoilla olivat taimettuneet sammalpeitteettömiä paremmin, mutta erot olivat pienempiä kuin mätästetyillä koealoilla. Tästä huolimatta mätästyskäsitteilyn lisäksi myös jyritystä poikkesi merkitsevästi muokkaamattomasta vertailusta (kuva 10 ja taulukko 2).

Kokeessa 9 koivun taimitiheys oli kaikkiin muihin koekenttiin verrattuna poikkeuksellisen alhainen. Tähän lienee tärkeimpänä syynä koekentän tehokas kuivatus. Käsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja tiheydessä. Ilmeisesti vesominen oli muokkauskäsittelyistä vähemmän riippuvana ilmiönä määräävä tekijä taimitiheyden säätelijänä. Koivun taimitiheys kuitenkin lisääntyi seinä- ja kynsisammalpinnoista kohti sammalpeitteettömiä pintoja. Tämä korrelaatio oli tosin merkitsevä vain mätästetyillä ($r = 0.530$, $n =$

52) koealoilla, mikä ilmeni myös merkitsevästi muokkauksen ja kasvillisuuden yhdysvaikutuksena (taulukko 2). Syy oli sama kuin männyn taimienkin kohdalla.

Kokeella 10 huonosti maatuneesta ja sarojen juurikuituja sisältävästä saraturpeesta muodostuneet mättäät olivat taimettuneet huonosti. Mätästykseen ei ollut merkitsevää vaikutusta männyn eikä koivun luontaiseen taimettumiseen. Koivun taimitiheys oli nelinkertainen männyn taimitiheyteen verrattuna sekä muokkaamattomilla että mätästetyillä pinnoilla (kuva 10). Muokkaamattoman pohjakerroksen kasvillisuus ei vaikuttanut männyn taimettumiseen. Myöskään mätästetyillä ei kasvillisuudella (sammalpeitteettömät ja karhunsammaloituneet mätäspinnat) ollut vaikutusta kummankaan puulajin osalta. Sen sijaan koivun taimitiheydet olivat muokkaamattomilla sammalpeitteettömiä karikkepinoilla ja erityisesti rahkasammalpinnoilla suuremmat kuin seinäsammalkasvustoissa. Kasvillisuuden ja muokkauksen yhdysvaikutus oli tämän vuoksi merkitsevä (taulukko 2). Siemenpuiden etäisyydellä ei tämän aineiston tarkastelussa ollut vaikutusta taimettumiseen.

Tulosten tarkastelu

Kasvillisuuden päävaihtelusuunnat olivat samoja kuin hakkaamattomilla ojitusalueilla (Saarinen & Hotanen 2000). Muokkaamaton kasvillisuus vaihteli rahkasammalvaltaisista osakasvustoista kiviin turvekangaspintoihin. Viimeksi mainituissa pohjakerros vaihteli ”kangassammalien” kokonaan valtaamista pinnoista osittain paljaan havukarikkeen ja erillisten kangassammallaikkujen muodostamaan kasvillisuusmosaiikkiin. Siemenpuuhakkuun avartamien valaistusolojen ja maanpinnan käsittelyn vaikutukset ilmenivät näkyvimmin tupasvillan runsautena ja kytökarhunsammalen esiintymisenä jyrityillä ja mätästetyillä pinnoilla.

Rahkasammalkasvustot olivat usein edistäneet männyn taimettumista ja puolella koekentistä männyn taimitiheys oli suurimmillaan rahkasammalvaltaisilla pinnoilla. Yleisesti ottaen rahkasammalvaltaisilla pinnoilla oli suurempi taimitiheys kuin ruskorahkasammalen muodostamilla mätäillä lukuunottamatta ovat ainoat lajit, jotka useimmissa tapauksissa tarjoavat otollisen itämisalustan

puiden siemenille (Place 1955, Heinselmann 1957, Sarasto & Seppälä 1964, Johnston 1977, Wood & Jeglum 1984, Groot & Adams 1994). Tämän aineiston jo pääosin vakiintuneessa taimimateriaalissa oli runsaasti vaihtelua, eikä rahkasammalten esiintyminen aina taannut riittävää taimettumista. Vaikka rahkasammalpinnoille yleensä syntyy enemmän sirkkataimia kuin kangasmaille tyypillisille sammalpinnoille, on niillä toisaalta todettu olevan vähemmän vakiintuneita taimia (Immonen-Joensuu 1987). Tämä saattaa johtua liiallisesta kosteudesta osalla rahkasammalkasvustoja. Myös erilaisten rahkasammalkasvustojen syntyhistoria on saattanut osaltaan olla vaikuttamassa asiaan. Ojitusalueilla kasvillisuus koostuu mosaikista eri sukkessiovaiheissa olevia kasvipopulaatioita

(Kuusipalo & Vuorinen 1981). Pohjavesipinnan keskimääräinen etäisyys suon pinnasta vaihtelee ojitusalueen eri osissa, aiheuttaen spatiaalista vaihtelua sukkession nopeuteen ja suuntaan. Ojaverkoston kunnan vähitellen rappeutuessa saattaa kasvillisuussukcessio osalla ojitusaluetta pysähtyä ja kääntyä takaisin kohti luonnontilaisten soiden kasvillisuutta (Saarinen & Hotanen 2000). Näin alkanut turvekankaan ”uudelleen soistuminen” synnyttää rahkasammalpinnoita, jotka karikerrostumien päällä eivät kapillaarisen pohjavesikontaktin ja kosteusolojen suhteen ole rinnastettavissa turvekangasastetta edeltäneisiin ”alkuperäisiin” rahkasammalkasvustoihin.

Toisella kahdesta mätätystyöskäytelyn sisältäneestä kokeesta ja neljällä yhdeksästä jyr-

Taulukko 2. Yleistettyjen lineaaristen sekamallien (SAS Glimmix) testitulokset muokkauksen (M) ja kasvillisuuden (K) vaikutuksesta sekä niiden yhdysvaikutuksesta (M*K) männyn ja koivun taimitiheyteen. Merkitsevät p-arvot lihavoidulla.

Table 2. Test results of the generalized linear mixed model (SAS Glimmix). The effects of soil preparation (M), vegetation (K) and their interaction (M*K) on the seedling density of pine and birch. Significant p-values in bold.

Koekentät 1–4 vuonna 1990, Experiments 1–4 in 1990

Puulaji Tree species	Parametri Parameter	Koe 1, Exp.1		Koe 2, Exp.2		Koe 3, Exp.3		Koe 4, Exp.4	
		F	p	F	p	F	p	F	p
Mänty Pine	M	18,4	0,0096	34,4	0,0005	0,19	0,8337	2,07	0,1883
	K	5,95	0,0027	3,83	0,0222	-	-	-	-
	M×K	2,22	0,0654	0,37	0,8329	-	-	-	-
Koivu Birch	M	2,80	0,1733	14,0	0,0055	0,60	0,5925	46,7	0,0001
	K	15,3	0,0001	6,83	0,0012	-	-	-	-
	M×K	2,54	0,0388	3,03	0,0172	-	-	-	-

Koekentät 5-8 vuonna 1992, Experiments 5-8 in 1992

Puulaji Tree species	Parametri Parameter	Koe 5, Exp.5		Koe 6, Exp.6		Koe 7, Exp.7		Koe 8, Exp.8	
		F	p	F	p	F	p	F	p
Mänty Pine	M	0,04	0,8651	11,1	0,0447	5,51	0,1005	1,27	0,3766
	K	2,09	0,1505	13,2	0,0004	10,2	0,0016	1,99	0,1590
	M×K	2,37	0,1262	3,28	0,0482	0,01	0,9247	10,9	0,0010
Koivu Birch	M	0,09	0,7896	1,37	0,3259	3,94	0,1414	60,8	0,0161
	K	4,80	0,0300	9,95	0,0020	11,2	0,0010	5,64	0,0179
	M×K	1,25	0,2655	10,9	0,0012	3,26	0,0725	2,36	0,1254

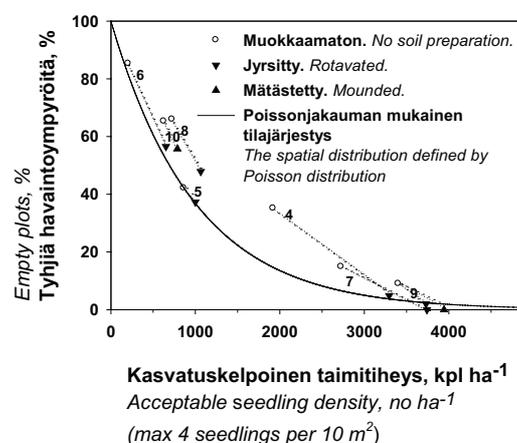
Koekentät 4 ja 7-10 vuonna 1999, Experiments 4 and 7-10 in 1999

Puulaji Tree species	Parametri Parameter	Koe 4, Exp.4		Koe 7, Exp.7		Koe 8, Exp.8		Koe 9, Exp.9		Koe 10, Exp.10	
		F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Mänty Pine	M	7,69	0,0500	2,08	0,2449	0,21	0,6913	3,22	0,0498	0,13	0,7530
	K	5,27	0,0250	17,4	0,0001	1,85	0,1751	2,13	0,1463	0,95	0,3315
	M×K	1,77	0,1881	4,57	0,0354	0,08	0,7837	0,60	0,6157	3,16	0,0773
Koivu Birch	M	2,09	0,2418	0,35	0,5966	0,00	0,9794	0,69	0,5685	0,00	0,9832
	K	28,6	0,0001	9,76	0,0024	4,12	0,0438	9,61	0,0023	11,7	0,0008
	M×K	5,59	0,0305	0,06	0,8101	0,00	0,9584	4,00	0,0088	10,2	0,0017

sintäkokeesta muokkaus lisäsi männyn taimettumista merkittävästi vallitsevasta pintakasvillisuudesta riippumatta. Muokkauksen vaikutus ilmeni siis samansuuntaisena kaikissa määritetyissä osakasvustotyypeissä. Kolmella muulla kokeella muokkausvaikutukseen liittyi pintakasvillisuuden yhdysvaikutus. Mikäli muokkaamattomat kosteat rahkasammalpinnot olivat ilman muokkaustakin hyvin taimettuneet, saattoi jyrinnän taimettumista edistävä vaikutus ilmetä vain kuivilla turvekangaspinnoilla. Toisaalta kokeella 4 männyn taimia oli eniten rahkasammalkasvustoihin tehdyissä jyrintäjäljissä. Tähän on saattanut vaikuttaa muokkauksen jälkeinen kuiva alkukesä, jolloin kosteimmat jyrintäjäljet ovat korostuneet muita parempina taimettumisalustoina. Yhdysvaikutus voi aiheutua myös siemenpuuhakkuun ja muokkauksen jälkeisistä taimettumiselle epäedullisista kasvillisuusmuutoksista. Kenttäkerroksen kasvilajeista taimettumista heikentävät niukkaravinteisilla ojitusalueilla erityisesti tupasvilla sekä harmaa- ja pallosara (Sarasto 1963). Näistä tupasvilla voi varpu- ja puolukkaturvekankailla levitä voimakkaasti uudistushakkuun jälkeen (Kuusipalo & Vuorinen 1981, Saarina 1993a). Jyrintäjälkien peittyessä nopeasti tupasvillakasvustoihin, jää taimettumiselle otollinen aika varsin lyhyeksi. Tämä tuli ilmi kokeella 7, jossa parhaiten olivat taimettuneet vain harvan kytökarhunsammalkasvuston peittämät jyrintäjäljet.

Muokkauksen päävaikutus koivun taimettumiseen oli merkittävä vain kahdella jyrintäkokeella. Kasvillisuuden ja muokkauksen yhdysvaikutus koivun taimettumiseen oli merkittävä viidellä yhdeksästä kokeesta. Rahkasammalkasvustoihin ja karikevaltaisiin pintoihin tehty jyrintäjäljet olivat paremmin taimettuneita kuin jyrintäjäljet kuivilla seinäsammalpinnoilla. Toisaalta yhdysvaikutus saattoi ilmetä myös käänteisesti; eri osakasvustojen jyrintäjäljet olivat taimettuneet yhtä hyvin mutta kosteimpien rahkasammalpinnojen etu kuiviin turvekangaspinnoihin nähden tuli esiin muokkaamattomilla pinnoilla.

Kuvassa 11 on esitetty yhteenvedona kaikkien 10 m² :n näytealoina mitattujen koekenttien männyn taimitiheydet muokkauksikäsitellyittäin suhteessa tyhjien näytealojen osuuteen. Suurimmaksi taimien kasvatustiheydeksi on sallittu 4000 tainta



Kuva 11. Männyn kasvatuskelpoiset taimitiheydet ja taimettomien näytealojen osuudet kokeilla 4–10. Taimien suurin hyväksytty kasvatustiheys neljä tainta näytealalla (10 m²). Pisteiviivat yhdistävät saman kokeen muokkaamattomat ja muokatut havaintokeskiarvot.

Fig. 11. The number of seedlings of Scots pine and the percentage of empty plots in Experiments 4–10. The highest number of seedlings accepted was four per sample plot (10 m²). The dotted lines connect the observation averages of the non-prepared and prepared plots in the same experiment.

hehtaarille eli kustakin 10 m² :n näytealasta otettiin huomioon enintään neljä männyn tainta. Koekentät jakautuivat jyrkästi kahteen ääripäähän; hyvin heikosti taimettuneisiin ja aukkoisiin (kokeet 5, 6, 8 ja 10), sekä toisaalta täystiheisiin ja tilajakaumaltaan tasaisiin taimikoihin (kokeet 4, 7 ja 9). Ensin mainituista kahdella ei jyrintä edistänyt lainkaan männyn taimettumista missään pintakasvillisuuden osakasvustossa (kokeet 5 ja 8). Kyseisille jyrintäkokeille oli yhteistä useat huonot siemenvuodet välittömästi muokkauksen jälkeen. Samoihin ajankohtiin osuivat myös vuosien 1985 ja 1988 pahat versosurmaepidemit, joiden voi olettaa vaikuttaneen paitsi siemensatoon myös sirkkataimien kehitykseen. Lisäksi muokkauksen voimakkuus on näillä kokeilla ollut heikoimmillaan. Muokkauksen vähäinen vaikutus taimettumiseen myös toisella mätästyskokeella (koe 10) selittyyneen parhaiten mättäiden turvelajilla ja maatuneisuudella. Turvetekijöillä on todettu olevan vaikutus turpeen usein voimakkaaseen kosteusvaihteluun (Bunt 1988, Reinikainen 1996),

joten on syytä olettaa tämän vaikuttaneen kyseisen kokeen herkästi kuivuvien saraturvemättäiden taimettumiseen. Huonosti taimettuneiden koekenttien ryhmään kuuluu myös koe 6, vaikka jyrshintä lisäksi merkitsevästi taimitiheyttä. Kyseessä oli vanhin koekenttä, jolla taimettumistulos mitattiin ensimmäisen kerran jo 1982 yksi kasvukausi muokkauksen ja kaksi kasvukautta siemenpuuhakkuun jälkeen (Kaunisto 1984). Tuolloin keskimääräiseksi taimitiheydeksi muokkaamattomilla pinnoilla todettiin vain vajaa 3000 sirkkainta hehtaarilla ja jyrshintäjäljissäkin ainoastaan 1–2 männyn sirkkainta jyrshintäjälkineliötä kohden. Jyrshintäjälkien peittävyys huomioon ottaen jyrshintä oli näin ollen lisännyt taimien hehtaariheyden noin kaksinkertaiseksi. Vuoden 1984 kesäkuussa huomattava määrä mäntytaimikoita vaurioitui poikkeuksellisen voimakkaan hallan vuoksi. Koekentällä tehtyjen havaintojen mukaan huomattava osa sirkkaintaimista tuhoutui. Versosurmaepidemiat 1980-luvulla olivat todennäköisesti syynä koekentän siemenpuuston heikkoon siemen- tuotantoon tämän jälkeen, jolloin taimettuminen kokonaisuudessaan jäi varsin huonoksi.

Turvemailla puiden käytettävissä olevien kivennäisravinteiden määrät suhteessa kasvualustan tyyppiin ovat huomattavasti pienemmät kuin kangasmailla. Tämä turpeen ravinnesuhteiden epäedullinen vaikutus taimettumiseen näyttäisi korostuvan koivun uudistumisessa, sillä fosfori- ja kaliumlannoitus (suometsien PK-lannos) edisti koivun taimettumista erityisesti kosteilla jyrshintavakopinnoilla. Tässä kuten myös useimmissa muissa tutkimuksissa lannoituksella ei ole ollut vaikutusta havupuiden taimettumiseen tai sitten vaikutus on ollut haitallinen (Koskela 1970, Paavilainen 1970, Kaunisto 1971, 1972, 1975, Mannerkoski 1971, 1972, Heikurainen & Laine 1976, Moilanen & Issakainen 1981, 1984, Saarinen 1993b). Haitta on sitä suurempi mitä kuivemmalle kasvualustalle lannoitteita lisätään. Männyn taimettumisen on tosin havaittu myös lisääntyneen erityisesti tuhkalannoitetuilla kylvömättäillä (Silverberg 1995). Erilaisten lannoitusten ja taimettumisen väliseen riippuvuuteen vaikuttaakin olennaisesti kasvualustaan lisättyjen ravinteiden konsentraatio maavesiliuoksessa (Mannerkoski 1971, Moilanen & Issakainen 1984).

Siemenpuuston vaikutusta taimitiheyteen tarkasteltiin ainoastaan vuoden 1992 mittauksissa kokeissa 5, 6, 7 ja 8. Siemenpuuston tiheys vaihteli välillä 40–90 runkoa hehtaarilla. Puuston vaikutus kuvattiin vain lähimmän siemenpuun etäisyyteen perustuen ottamatta huomioon useamman siemenpuun samanaikaisesta vaikutuksesta tai siemenpuiden koosta riippuvaa vaihtelua. Männyn taimitiheyteen siemenpuut eivät vaikuttaneet mutta kokeella 8 vaikutus koivutiheyteen oli merkitsevä noin 5–6 metrin säteellä. Samansuuntainen pelkästään koivun taimitiheyteen vaikuttanut tulos saatiin myös Ruuskan ym. (2001) kivennäismailla tekemissä mittauksissa, joskin siemenpuuston on aiemmin raportoitu pienentävän taimitiheyttä myös mäntytaimikoissa (Niemistö ym. 1993).

Päätelmät

Koivun taimitiheydet olivat männyn tiheyksiä suuremmat suurimmalla osalla koekentistä. Muokkauksen ja taimitiheyden välinen riippuvuus oli koivulla kuitenkin heikompi kuin männyllä. Tämä johtui koivun mäntyä paremmasta kyvystä uudistua muokkaamattomillekin kasvillisuuspinnoille. Erityisesti kosteille rahkasammalpinnoille koivu ja syntyy usein runsaasti myös ilman muokkausta. Osittain oli kyse myös siitä, että ojitusalueilla koivun taimitiheyteen vaikuttaa myös vesottuminen. Vesojen osuus taimimäärästä on kuitenkin enemmän riippuvainen metsikön uudistamista edeltäneen puuston puulajisuhteista kuin pintakasvillisuudesta ja muokkauksesta. Mikäli kyseessä on nevista tai nevamaisesta rämeestä syntynyt ojitusalue, voi alkuperäisen puuston suuren koivun osuuden vuoksi vesasyntyisten taimien määrä olla huomattavan suuri.

Kangasmaiden lautasaurausta vastaavalla jyrshintä voidaan saavuttaa täystiheä mäntytaimiko, mikä luontaisen uudistamisen yhteydessä antaa aiheen rohkaista muidenkin pintamuokkauksen menetelmien käyttöön mätästysmuokkauksen vaihtoehtona. Taimet keskittyvät jyrshintäjäljissä vakopintoihin, jolloin hyvin kuivatetun uudistusalan mahdollisimman pinnanmyötäisellä kaivurilaikutuksella voitaneen päästä samaan lopputulokseen hyödyntämällä ojitusalueilla muutoinkin

toimivaa ja saatavissa olevaa konekantaa.

Jyrsinnän kaltaisen pintamuokkausjäljen vaikutus on kuitenkin usein vallitsevasta pintakasvillisuudesta riippuva. Rahkasammalpinnat ovat usein muokkaamattominakin hyvin taimettuvia, jolloin muokkauksen vaikutus näkyy vain kuivilla turvekangaspinnoilla. Tosin rahkasammal kasvuston muokkaus saattaa joskus tuottaa kaikkein herkimmin taimettuvan pinnan erityisesti kuivina kesinä. Nämä pinnat ovat erityisen otollisia hieskoivun taimettumiselle, mikä saattaa muodostua ongelmaksi männyn taimien syntymiselle ja jatkokehitykselle varsinkin puolukkaturvekankailla. Ongelma kärjistyy, jos koivun osuus uudistettavasta puustosta on suuri (nevojen ja nevarämeiden ojitusalueet) ja uudistusalueelle kehittyy lisäksi tiheä ja nopeakasvuinen vesakko. Siemensyntyisten koivujen runsauteen vaikuttaa lisäksi lannoitus, joka on männyn luontaisen uudistamisen yhteydessä enemmän haitaksi kuin hyödyksi. Lannoituksella saattaa tosin olla merkitystä taimikon myöhemmissä kehitysvaiheissa, sillä osalla vanhimmista taimikoista olikin havaittavissa laikuttaisia kaliumin puutosoireita.

Kiitokset

Huomattava osa tämän tutkimuksen aineistosta perustuu prof. Seppo Kauniston perustamien koekenttien mittauksiin. Käytettävissä olleiden koekenttien lisäksi olen saanut häneltä arvokasta apua tekstisisällön muotoilussa. FM Virpi Alenius ja MMT Jari Miina ovat antaneet neuvoja aineiston tilastomatematisessa käsittelyssä erityisesti yleistetyt lineaarisen sekamallin soveltamisessa.

Metsätalousinsinöörit Paula Kuusela ja Kati Eerola ovat opinnäytetyötä tehdessään olleet ratkaisevana apuna maastomittauksissa. Kiitokset kaikille edellä mainituille.

Kirjallisuus

- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants: a manual on the preparation and use of growing media for pot plants. 2nd ed. of modern potting composts. London. 309 p.
- Groot, A. & Adams, M. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. *The Forestry Chronicle* vol. 70, no. 5: 585–592.
- Heikurainen, L. & Laine, J. 1976. Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Summary: Effect of fertilization, drainage and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps. *Acta Forestalia Fennica* 150: 1–38.
- Heinselmann, M. L. 1957. Living Sphagnum found most favorable seedbed for swamp black spruce in Minnesota study. USDA Forest Service, Lake States Forest, Experiment Station. Technical Note. No. 504. 2 p.
- Hyppönen, M. & Hyvönen, J. 2000. Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapin yksityismetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2000: 589–602.
- Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K. T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suomensäät 1951–1994. *Metsätalouden Aikakauskirja*. Painossa.
- Immonen-Joensuu, M. 1987. Luontaisen uudistamisen onnistuminen vanhoilla metsäojitusalueilla. Pysyviin tuotoskoealoihin perustuva selvitys. Tutkielma MMK-tutkimusta varten. Helsingin yliopisto, metsätieteen laitos. 68 s.
- Johnston, W. F. 1977. Manager's handbook for black spruce in the North Central States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report. NC-34. 18 p.
- Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Summary: Effect of fertilization, soil preparation, and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. A study performed in greenhouse. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 75.2. 64 s.
- Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä. Summary: Effect of fertilization on successful planting and the number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field. *Folia Forestalia* 139: 1–11.
- Kaunisto, S. 1975. Suometsien luontaisen uudistamisen edistäminen. *Metsäntutkimuslaitos*. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 14: 37–41.
- Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 137: 7–21.

- Kaunisto, S. 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. *Folia Forestalia* 724: 15 p.
- Kaunisto, S. 1997. Peatland forestry in Finland: Problems and possibilities from the nutritional point of view. In: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jeglum, J.K. (eds.) *Northern Forested Wetlands. Ecology and Management*. Lewis Publishers, Chapter 27. 387–401.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145: 39 p.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemaidella. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Forest regeneration and afforestation on drained peatlands. A literature review. *Folia Forestalia* 625: 1–75.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Summary: Peatlands drained for forestry during 1930–1978: results from field surveys of drained areas. *Acta Forestalia Fennica* 193: 1–94.
- Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkasvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Summary: On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. *Folia Forestalia* 78: 1–25.
- Kuusipalo, J. & Vuorinen, J. 1981. Pintakasvillisuuden sukkessio vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. Summary: Vegetation succession on an old, drained peatland area in Eastern Finland. *Suo* 32(3): 61–66.
- Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., & Wolfinger, R.D. 1996. *SAS System for Mixed Models*, Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 pp.
- Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Summary: Effect of fertilization on the initial development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. *Silva Fennica* 5(2): 105–128.
- Mannerkoski, H. 1972. Havaintoja koivun esiintymisestä Haukivahonsuon lannoituskoekentällä. Summary: On the occurrence of birch on fertilized peat. *Suo* 23 (5): 80–86.
- Marquardt, D.W. (1963). An Algorithm for Least Squares Estimation of Parameters. *Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*, 11, 431–441.
- McCune, B., & Mefford, M. J. 1999. *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4*. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Minchin, P.R. 1987. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. *Vegetatio* 69:89–107.
- Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1995. Kuusen ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. *Folia Forestalia — Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 115–130.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1981. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun soilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu. *Folia Forestalia* 481: 1–16.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 1984. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 133: 1–23.
- Multamäki, S. E. 1942. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittämiseen. Referat: Das Erfrieren der Fichtenpflanzen in seiner Wirkung auf die Bewaldung der entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 51(1): 1–353.
- Paavilainen, E. 1970. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvialustalla. Summary: On the effect of top dress fertilization on successful seeding of birch, spruce, and pine. Vessel experiments in soil with an untreated surface. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 72(1): 1–37.
- Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemaidella kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry districts of Finland. Results from inventories in 1978–1979. *Folia Forestalia* 679: 26 s.
- Place, I. C. M. 1955. The influence of seedbed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. *Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources. Forestry Branch, Bulletin* 117: 87 p.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., and Vetterling, W. T. (1986). *Numerical Recipes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reinikainen, O. 1996. Turpeen kostuvuus. Julkaisussa: *Metsätaimienhävitys Jyväskylässä* 13.–14.3.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 601: 64–66.
- Ruuska, J., Valkonen, S. & Siipilehto, J. 2001. Effect of retained trees on growth and structure of young Scots pine stands. In: LeMay, V. & Marshall, P. (eds.). *Forest Modelling for Ecosystem Management, Forest Certification, and Sustainable Management*. Proceedings of the conference held in Vancouver, BC, Canada, August 12 to 17, 2001, p. 373–381.
- Saarinen, M. 1993a. Miten käsitellä uudistamiskypsiä ojitusaluemetsiä. Julkaisussa. Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 470: 6–12.

- Saarinen, M. 1993b. Männyn ja koivun viljely turvetuotannosta poistetuilla suonpohjilla. Afforestation of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and birch (*Betula pendula* and *B. pubescens*) on cut-over peatlands. MML-tutkinnon sivuainetutkielma metsänhoitotieteissä. 29 s + liitteet.
- Saarinen, M. 1997. Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Effect of site factors on restocking of old drainage areas. A literature review. Suo 48(3): 61–70.
- Saarinen, M. & Hotanen, J.-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. Covariation between raw humus layer and vegetation on peatlands drained for forestry in western Finland. Suo 51(4): 227–242.
- Sarasto, J. 1961. Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. Acta Forestalia Fennica 74: 1–47.
- Sarasto, J. 1963. Tutkimuksia koivun kylvöstä ojitetuilla soilla. Summary: Sowing of birch on drained swamps. Suo 14(4): 47–56.
- Sarasto, J. 1964. Tutkimuksia ojitettujen soiden varvustosta ja sen vaikutuksesta männyn kylvöihin. Summary: Investigations on dwarf shrub vegetation on drained swamps and its influence on sowing of pine. Suo 15(4): 61–68.
- Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. Summary: On sowing of pine in moss and lichen vegetation on drained swamps. Suo 15(3): 54–58.
- Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. Silva Fennica 29: 205–215.
- Wood, J. E. & Jeglum, J. K. 1984. Black spruce regeneration trials near Nipigon, Ontario: Planting versus seeding, lowlands versus upland, clearcut versus stripcut. Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report O-X-361. 19 p.

SUMMARY:

Effect of vegetation and site preparation on the restocking of Scots pine and birch in dwarf-schrub and *Vaccinium vitis-idaea* type peatland forests

Nearly one million ha of mires have been drained for forestry in Finland since the early 1950s. A considerable proportion of these drainage areas are currently attaining the post-drainage age of 70 years. The sites that were already stocked with trees at the time they were drained have now reached the regeneration stage or will do so within the next ten years or so.

Recently drained *Sphagnum*-dominated drainage areas usually become satisfactorily restocked naturally. As time passes, however, natural restocking gradually becomes impaired when plant species typical of upland forest sites take over the site and the properties of the surface peat layer change. The speed of vegetation succession resulting from drainage varies, however, and its direction can also be reversed when the ditch network degenerates. Consequently, the variation in ground vegetation and its effect on tree-seedling development is often considerable in old drainage areas.

This paper focusses on some of the Finnish Forest Research Institute's field experiments on the natural regeneration of pine. Most of them were drained in the 1930s. The purpose of the field experiments was to investigate the effect of mounding and lighter soil preparation by surface rotavation on the natural restocking of Scots pine and birch. The primary research objective was to study the interactive effect of soil preparation and ground vegetation. Thus, the main emphasis was on investigating the effect of different types of natural ground vegetation on restocking following site preparation.

The material for the study consists of data from ten field experiments. The location of the experiments is shown in Fig. 1, and the basic data in Table 1. The experiments were inventoried in 1990, 1992 and 1999, which means that restocking results are available for periods of 4–16 growing seasons, starting from seedtree cutting and site preparation. Circular sample plots (0,25, 1

and 10 m²) were established along systematically located sampling lines for measurements of the ground vegetation and the number of tree seedlings. The ground vegetation was determined either as a class variable determined by the predominant species or as species-specific coverages. The joint variation of species coverages and restocking was analysed using nonmetric multidimensional scaling (GNMDS) (Minchin 1987) with a PC-ORD software package (McCune & Mefford 1999). A generalized linear mixed model was used to test the effect of site preparation and vegetation and their interaction. The model was produced using the Glimmix macro of the SAS software package (Littel et al. 1996).

The ground vegetation on unprepared surfaces was divided into "mire moss" communities predominated by *Sphagnum* and *Polytrichum* species, and vegetation of transformed peatland forest. The latter represents the final phase of typical post-drainage vegetation succession (Sarasto 1961). The ground layer of the transformed vegetation varied between the plots. Some of the plots were completely colonised by "upland mosses" (mainly *Pleurozium schreberi* and *Dicranum* species), and some were mosaics comprising plant litter and patches of upland mosses (Fig. 2–4). The effects of improved light penetration resulting from seedtree cutting and site preparation were reflected in the abundant occurrence of *Eriophorum vaginatum* and *Polytrichum gracile* on rotavated and mounded surfaces.

The number of birch seedlings was higher than that of Scots pine in most of the experiments (Figs. 5–7 and 10). However, the correlation between site preparation and the number of birch seedlings was lower than that between site preparation and the number of pine seedlings. This was partly due to the better capacity of birch to regenerate among the vegetation on non-prepared patches. Some of the birch plants were of vegetative origin, and their proportion out of all the birch restocking mate-

rial depended more on the tree-species composition of the stand prior to its regeneration than on the ground vegetation and site preparation. The main effect of site preparation on the restocking of birch was statistically significant in only one of the rotavation experiments. Four of the other nine experiments had a statistically significant interactive effect between vegetation and site preparation. The rotavation furrows made in communities of *Sphagnum* species and on litter-dominated surfaces were better restocked than the rotavation furrows on dry *Pleurozium*-dominated surfaces. In some cases this interactive effect between site preparation and vegetation had the reverse result; the rotavation furrows in different types of plant community had become equally restocked, but the difference between *Sphagnum* and *Pleurozium* communities was significant on the non-treated surfaces.

Communities of *Sphagnum* often promoted the restocking of Scots pine; on half of the experiments the number of pine seedlings was at its highest in patches dominated by *Sphagnum* (Figs. 4a and 6). Generally speaking, *Sphagnum* mosses offer a favourable germination substrate for tree seeds (Place 1955, Heinselman 1957, Johnston 1977, Wood & Jeglum 1984, Groot & Adams 1994). However, there was high variation among the established regrowth inventoried in this study, and the occurrence of *Sphagnum* was not always a guarantee for sufficient restocking. In one of the two experiments involving mounding, and in three of the nine rotavation experiments, the effect of site preparation was similar in all of the partial plant communities examined. In four of the other experiments the site-preparation effect included the interactive effect of ground vegetation. If the non-treated moist peat-moss surfaces had become well restocked even without site preparation, in some cases the favourable effect of

rotavation on restocking was only apparent on the dry surfaces of the transformed vegetation. In experiment 4, on the other hand, the number of seedlings was at highest in the rotavation furrows made in communities of *Sphagnum*. The dry early summer following site preparation may have influenced this, because this would have accentuated the superiority of the moistest rotavation furrows as restocking substrates. The interaction effect could also be the result of non-beneficial changes in the vegetation following regeneration felling and site preparation. As the rotavation furrows soon become covered by communities of *Eriophorum vaginatum*, the favourable period for restocking is relatively short. This was apparent in experiment 7 in which the best restocking occurred on the rotavation furrows with only a sparse cover of *Polytrichum gracile*.

Fertilisation with phosphorus and potassium promoted the restocking of birch, especially on the moist rotavated surfaces. Here, as has been reported in most other studies, fertilisation had no effect on the restocking of conifers or, if it had, its effect was detrimental (Koskela 1970, Paavilainen 1970, Kaunisto 1971, 1972, Mannerkoski 1971, Heikurainen & Laine 1976, Moilanen & Issakainen 1981).

Rotavation, which corresponds to disc trenching on upland forest soils, can be used to achieve fully-stocked stands of Scots pine and, when combined with natural regeneration, will encourage forest owners to use other alternative surface-treatment methods instead of mounding. The tree seedlings tend to be concentrated on the surface of the furrows made by rotavation, which means that restricting digger-scarification to the topmost surface of the soil on well-drained regeneration sites can produce the same result; the required machinery is usually in any case present on the site for ditch network maintenance.