

Kaivinkoneiden tuottavuus, työnjälki ja kustannukset maanmuokkauksessa turvemaiilla

The productivity, work quality and operation costs of excavators in site preparation on peatlands

Risto Lauhanen

Risto Lauhanen, The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, FIN-69100 Kannus, Finland (e-mail risto.lauhanen@metla.fi)

Four excavators were studied in site preparation in different excavation difficulty classes (1–3) during the unfrozen period in central and northern Ostrobothnia in western Finland. In mounding, the mean productivity (per effective hour) of the excavators was 0.17 ha h⁻¹ and in scarification 0.32 ha h⁻¹, respectively. The work quality was acceptable. In mounding and scarification, the mean number of planting positions was about 3 600 per hectare. The mean height of the mound was about 28 cm, the mean dimensions of the scarified surface being 330 cm × 75 cm. The operation costs were 268–388 FIM per hour, if the price of the excavator was 400 000–1000 000 FIM.

Key words: excavator, mounding, scarification, work studies

JOHDANTO

Maanmuokkaus on useimmiten välttämätöntä metsänuudistamisen yhteydessä. Ensinnäkin istutustyö helpottuu. Muokkauksella tavoitellaan myös taimien varmaa ja nopeaa alkukehitystä, pintakasvillisuuden kilpailun vähenemistä sekä mahdollisimman pitkäaikaista maanparannusvaikutusta. Mätästys on vakiinnuttanut asemansa maanmuokkausmenetelmänä hienolajitteisilla, vedenvaivaamilla kankailla ja turvemaiilla. Mätästyksellä kasvupaikan vesitalous saadaan tehokkaammin kuntoon kuin pelkällä äestyksellä (Laiho 1981, Hämäläinen 1984a, b, Hämäläinen & Vastamäki 1991).

Auraukseen verrattuna kaivurimätästykseen ongelmana on ollut työn kalleus ja alhainen tuottavuus. Kaivurimätästykseen käyttötuntituotos on ol-

lut keskimäärin 0,14–0,19 ha h⁻¹ (Hämäläinen 1984a, b, Korhonen & Kumpare 1994), ja tehotuntituotos 0,17–0,35 ha h⁻¹ (Hämäläinen 1984a, b, Huttunen 1992, Korhonen & Kumpare 1994). Varsinkin kivisyys on alentanut työn tuottavuutta ja vähentänyt samalla viljelykohtien määrää uudistusallalla (Hämäläinen 1984a, b, Hämäläinen & Kaila 1987, Hämäläinen & Vastamäki 1991, Huttunen 1992, Korhonen & Kumpare 1994). Mätästysmenetelmää syvine naveroineen ja korkeine mätätineen on arvosteltu myös esteettisessä mielessä.

Kivennäismaiden aurauksista on maanmuokkauksessa luovuttu. Laikutuksessa kaavitaan kauhalla tai muulla muokkaimella istutustaimille viljelykohteita sekä luonnonsiemennykselle itämisalustoja. Uudistamisalan sisäinen kasvupaikkavaihtelu vaatii kuitenkin useimmiten erilaisten maanmuokkausmenetelmien käyttöä samalla

alalla. Tällöin konesiirrot tai muokkainvälineen vaihdot aiheuttavat helposti lisäkustannuksia. Soistuneilla kankailla onkin mahdollista toteuttaa kauhalla sekä mätästystä että laikutusta uudistusalan sisäisen vaihtelun mukaisesti.

Vaikkakin metsätyön tuottavuus- ja kustannustietoisuusvaatimukset ovat viime vuosina korostuneet aikaisempaa enemmän, on hyvästä työn laadusta ja ympäristönsuojelunäkökohdista kyettävä huolehtimaan (Lauhanen 1993, 1994, Johansson 1994). Metsien ympäristöystävällinen käsittely ja luonnon monimuotoisuuden huomioon ottaminen edellyttävät uusien työmenetelmien sekä kone- ja laitekaluston käyttöönottoa erityisesti metsän uudistamisessa.

Yhtenä vaihtoehtona on, että samalla peruskoneella yrittäjä tai yrittäjärengas pyrkii tekemään metsäalan eri töitä ympärivuotisesti. Tällöin metsäteollisuusyritys, metsänhoitoyhdistys tai valtion liikelaitos voi työllistää yrittäjän tai yrityksen hoitamaan kaikki metsätalouden työt samalla peruskoneratkaisulla tietyllä alueella. Ruotsissa tällaisesta järjestelmästä on saatu myönteisiä kokemuksia. Esimerkiksi kaivinkoneyksikkö voidaan varustaa tilanteen mukaan siten, että sillä voidaan pitkin vuotta tehdä turvemaiilla tienrakennusta, harvennushakkuuta, kunnostusojitusta ja maanmuokkausta (Johansson 1994, Kuva 1).

Suomessa ympäriryöriä tela-alustaisia kaivinkoneita käytettiin jo 1960-luvun metsäojituskissa (Aitolahti & Numminen 1969). Sittemmin kaivinkoneiden osuus on vähitellen lisääntynyt metsätalouden eri töissä (Salo 1987, 1988, Hämäläinen & Vastamäki 1991, Lauhanen 1993, 1994). Vuosina 1994–1995 metsäteollisuuden voimakkaasta korkeasuhdanteesta aiheutunut hakkuukonepula pakotti varustamaan tela-alustaisia kaivinkoneita hakkuukoneiden alustakoneiksi.

Kunnostusojitusalueiden laskeutusaltaiden teossa ympäriryöriä kaivinkoneet ovat osoittautuneet kaivumaiden sijoittelussa perinteisiä traktorikaivureita kädiveimmiksi. Ojankaivussa kaivinkoneiden tuottavuus tehotuntia kohti oli noin kolmanneksen suurempi kuin kaivureilla (Lauhanen 1993). Myös niiden yksikkökustannukset ojameriä kohti olivat pienemmät kuin kaivureilla. Kaivinkoneet aiheuttivat kuitenkin ojanvarsipuustolle vaurioita kaivureita enemmän (Lauhanen 1994).

Turvemaan harvennushakkuussa kaivinkonealustaisen harvesterin tuottavuus oli rungon koosta

riippuen 20–30 prosenttia alempi kuin pyöreealustaisilla yksioteharvestereilla (Mäkelä 1990). Kaivinkoneharvesterin käyttötuntikustannus oli kuitenkin 70–85 markkaa alhaisempi, joten hakkuutyön yksikkökustannukset muodostuivat käytännössä yhtä suuriksi. Turvemaiden huono kantavuus sekä maaperän ja juuriston varjelu puoltavat tela-alustaisen kaivinkoneiden käyttöä pyöreäkoneiden sijasta hakkuutyössä erityisesti sulan maan aikana (Mäkelä 1990).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kaivinkoneiden tuottavuutta, työnjälkeä ja kustannuksia maanmuokkauksessa soistuneilla kankailla ja turvemaiilla sulan maan aikana. Lisäksi selvitetään muokkaustyön tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus on osa laajempaa yhteispohjoismaista NSR-projektia, jonka tehtävänä on arvioida tela-alustaisen ympäriryöriä kaivinkoneiden sekä muiden maanrakennuskoneiden käyttömahdollisuuksia metsätalouden eri töissä (Kuva 1).

AINEISTO JA MENETELMÄT

Seurannassa oli mukana neljä kaivinkonetta Keski-Pohjanmaan ja Pohjois-Pohjanmaan metsälautakuntien (nykyisten metsäkeskusten) toimialueilla (Taulukko 1). Kaksi koneyksikköä työskenteli Metsähallituksen Haapajärven yksikön työmailla, ja toiset kaksi yksityismetsissä. Tutkimukseen valittiin kokeneita, ammattitaitoisia koneyrittäjiä. Yhdellä koneista oli kaksi kuljettajaa. Koneyksiköt oli varustettu ojitus-mätästykseen sopivilla 600–1 000 litran muotokauhoilla.

Tutkimusaineisto kerättiin vuosina 1994–1995 sulan maan olosuhteissa. Alun perin tutkimuksen painopiste oli pelkästään mätästyksessä, mutta työn edistyessä aineiston keruu laajennettiin käsittelemään laikutusta. Aineistoa kerättiin hienolajitteisilta soistuneilta kankailla, turvemaiilla ja yhdeltä paksuturpeiselta metsitettävältä pellolta. Monin paikoin koneyksiköt tekivät mätästystä ja laikutusta samalla uudistuslallalla ja samalla kauhalla. Kaikkiaan aineistoa kerättiin 205 koelallalla.

Aikatutkimuksessa selvitettiin koneyksiköiden tuottavuudet (tehotuntituotokset) sekä tehoajan jakaumat. Tehoaikaan luettiin muokkaustyön lisäksi koneen siirtymiset varsinaisen muokkaustyön yhteydessä. Seurantakoealaksi valittiin suorakulmio, joka oli 15 metriä pitkä. Koealan leveys vastasi



Kuva 1. TELA-alustaiset kaivinkoneet ovat monipuolisia metsätyökoneita turvemilla. Vasemmalla Hymax-kaivinkone turvemaan harvennushakkuussa Etelä-Norjassa syksyllä 1995, oikealla Kobelco-kaivinkone Lestijärvellä maanmuokkauksessa syksyllä 1994.

Fig. 1. Track-based excavators — versatile machines in peatland forestry. Hymax excavator in thinning of peatland in southern Norway in autumn 1995 (left), and Kobelco excavator in soil preparation near Lestijärvi in autumn 1994.

Valokuva vasemmalla (photo left by) Markku Ihonen, Työthöseura sekä oikealla (photo right by) Risto Lauhanen, Metla.

kulloinkin koneen työskentelykaistan leveyttä eli koneen ajolinjaväliä. Koealan muokkaamiseen kulunut aika mitattiin senttiminutteina (cmin) käsi-ajanotolla. Tehoajan jakauma määritettiin määrävällein tapahtuvana havainnointina koneen yksittäisiä työvaiheita seuraamalla (Takalo & Väyrynen 1982, Lauhanen 1993, Lauhanen & Takalo 1993).

Työvaikeusluokitus perustui käytännön metsänuudistamisessa sovellettuun kaivuvaikeusluokitukseen (Ojitusmätästykseen ... 1991). Kaivuvaikeusluokkaan 1 kuului keskinkertainen metsämaasto, jossa esiintyi vähän työtä hidastavia pintaesteitä. Kaivuvaikeusluokassa 2 maasto oli pintaesteiden takia vaikea. Kaivuvaikeusluokka 3 puolestaan sisälsi erikoisolosuhteet. Mainitussa vaikeusluokassa pintaesteitä oli siinä määrin, ettei vaosta riittänyt kunnolla maata mättäisiin. Lisäksi raivaamatonta jätetuustoa saattoi olla runsaasti. Mätästykseen kaivuvaikeusluokitusta sovellettiin myös laikutuksen tuottavuutta arvioitaessa (Kuva 2).

Työvaikeusluokituksen tueksi koelaitteilla määritettiin maalaji, turpeen paksuus (cm) sekä mahdollisten jättöpuiden lukumäärä (Taulukko 2). Samoin koelaitteilla kartoitettiin yli 50 cm kivien (Ali-Raatikainen 1990) ja ainespuun vahvuisten liekopuiden lukumäärä (Lauhanen 1993).

Tutkimustyömailla tehtiin viljelykohteita aikaisempaa enemmän (ks. Hämäläinen 1984a, b), sillä viime vuosina vaatimus pienikokoisista, runsaslukuisista mätäistä sekä taimien suotuisan alkukehityksen että uudistusalan kauneuden kannalta on korostunut muokkaustyössä. Taimikkoinventointikepin (säde 3,99 m) avulla laskettiin mätäiden ja laikkujen lukumäärä. Laikuiksi luettiin myös tasapinnat, joita muodostui mätästysnaveroiden reunoille kunnatkerroksen repeytyessä tai pintaesteiden poistuessa. Mätäiden osalta arvioitiin, montako viljelykohtaa mätäille sopi. Viljelykohtien minimimietäisyys määritettiin yhdeksi metriksi (Hämäläinen 1988). Lisäksi kultakin koelaitteilla valittiin silmävaraisesti keskimääräistä edus-

Taulukko 1. Yleistiedot tutkimuksen konekalustosta.

Table 1. General information on the studied machines.

Kone Machine	Vuosimalli Model year	Teho Effectivity	Painoluokka Weight class	Koneen ulottuvuus Working distance
Kobelco 905 Lc II	1989	63 kW	14,0 tn	8,5 m
Lännen T214 BC C	1991	70 kW	17,0 tn	8,8 m
JCB 816 LC	1990	93 kW	21,0 tn	9,5 m
Poclain 81 CK	1987	64 kW	19,0 tn	9,1 m

tava mätäs tai laikku, jonka ulottuvuudet mitattiin. Mätästyksessä mitattiin myös naveron keskisyvyys (cm).

Aineiston tilastollinen käsittely tehtiin BMDP-ohjelmistolla (BMDP PC-90 ...) ja käyttötuntilaskelmat Excel-taulukkosovelluksella (Lauhanen 1993, Lauhanen & Takalo 1993). Kuljettajan vaikutusta Poclain-kaivinkoneen tuottavuuteen tutkittiin varianssianalyyseillä (Ranta ym. 1989). Konekohtaisten tuottavuuksien osalta laskettiin ensin koko aineiston aritmeettiset keskiarvot, -hajonnat ja vaihteluvälit. Koska aineisto jakautui epätasaisesti kaivuvaikeusluokkien ja konemerkkien kesken, oli tarpeen laskea koneiden keskimääräiset tuottavuudet standardoiduilla kaivuvaikeus- ja työnjälkimuuttujilla.

Tuottavuuteen vaikuttavia määrällisiä yksittäisiä tekijöitä selvitettiin korrelaatioanalyyseillä, jonka perusteella laadittiin mätästykseksi ja laikutukselle tuottavuusmallit askeltavaa regressioanalyysejä soveltaen (Ranta ym. 1989, BMDP PC-90 ...). Havaintojen pienen lukumäärän ($n < 20$) takia konekohtaisten regressiomallien laatiminen ei ollut kaikkien koneiden osalta perusteltua. Kaivu-

Taulukko 2. Työvaikeustekijät mätästyksessä ja laikutuksessa. Mukana koelakohitteiset keskiarvo ja -hajontatunnukset.

Table 2. Factors affecting work difficulty in mounding and scarification including mean and standard deviation. Values given by sample units.

	Mätästys <i>Mounding</i>	Laikutus <i>Scarification</i>
Halkaisijaltaan vähintään 50 cm kivien määrä (runsas) <i>Number of stones with diameter of at least 50 cm</i>	3,1 ± 0,4	2,3 ± 0,3
Turvekerroksen paksuus, cm <i>Peat layer, cm</i>	52 ± 2,9	8 ± 0,6
Liekopuiden määrä <i>Number of embedded trees</i>	0,5 ± 0,2	0,0 ± 0,0
Jättöpuiden määrä <i>Number of residual trees</i>	0,1 ± 0,1	1,3 ± 0,5
Kaivuvaikeusluokka (1–3) <i>Excavation difficulty class</i>	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Koneen ajolinjaväli, m <i>Strip spacing, m</i>	16,7 ± 0,2	15,4 ± 0,2

vaikeusluokkaa käsiteltiin malleissa ns. vale- eli dummy-muuttujana. Mallit pyrittiin laatimaan mahdollisimman yksinkertaisiksi ja riittävän määrän informatiivisia muuttujia sisältäviksi. Samaan regressiomalliin ei voinut ottaa mukaan keskenään voimakkaasti korreloivia tekijöitä. Esimerkiksi kivien lukumäärä ja kaivuvaikeusluokka tai kaivinkoneen paino ja ulottuvuus olivat tällaisia muuttujapareja.

TULOKSET

Mätästyksessä kaivinkoneiden tuottavuus oli keskimäärin 0,17 hehtaaria tehotunnissa konemerkitä riippuen (Taulukko 3). Tuottavuuden vaihteluväli oli 0,07–0,54 ha h⁻¹. Laikutuksessa tuottavuus oli 0,32 hehtaaria tehotuntia kohti, ja vaihteluväli 0,12–0,57 ha h⁻¹.

Koko aineistossa keskimääräinen työn tuottavuus vaihteli voimakkaasti sekä mätästyksessä että laikutuksessa, koska aineisto jakautui epätasaisesti konemerkkien ja työolosuhteiden kesken (Kuva 2). Siksi kaivuvaikeus- ja työnjälkimuuttujat oli tarpeen standardoida, ja laskea näitä vakio-oloja vastaavat aritmeettiset tuottavuuden keskiarvot.

Kun olosuhteet vakioitiin, mätästystyön tuottavuus oli 0,19 hehtaaria tehotunnissa. Tällöin mätästystyön kaivuvaikeusluokka oli 2, ja mättään korkeus 40 cm tai sen alle. Lisäksi naveron syvyyden piti olla alle 70 cm ja mättäiden lukumäärän 2 200 kappaletta hehtaarilla tai sitä vähemmän. Laikutuksessa vastaava tuottavuus oli 0,31 ha h⁻¹, kun kaivuvaikeusluokka oli 2 ja laikutiheys 2 200 kappaletta hehtaarilla tai sen alle. Jättöpuita ei saanut olla uudistusallalla kummassakaan työmuodossa.

Yksittäisten tekijöiden osalta mätästystyön tuottavuus aleni turvekerroksen paksuuden kasvaessa (Taulukko 4). Ryhmissä sijaitsevien jättöpuiden määrä ei vaikuttanut mätästystyön tuottavuuteen. Kun runsas jättöpuusto oli jakautunut yhdelle uudistusallalle tasaisesti, tuottavuus laski noin 20% verrattuna tuottavuuteen paljaalla maalla samassa kaivuvaikeusluokassa. Viljelykohtien lisääntyminen alensi yksittäisenä tekijänä mätästystyön tuottavuutta (Kuva 3).

Koko aineistossa (131 havaintoa) mätästystyön tuottavuutta (Y) kuvasi parhaiten tilastollisesti erittäin merkitsevä ($F = 43,13, p < 0,001$), regressiomalli;

$$\log Y = -0,453209 - 0,000046 \times X1 - 0,002236 \times X2 - 0,000044 \times X3 - 0,004057 \times X4 + 0,029841 \times X5 - 0,012759 \times X6 \quad (1)$$

Mallissa (selitysaste 67,6%) tuottavuutta alensivat kivien runsastunut lukumäärä (X1), turvekerroksen lisääntynyt paksuus (X2) sekä viljelykotiin kasvanut lukumäärä (X3). Kun mätästysvako syveni, tuottavuus aleni (X4). Edelleen mitä raskaampi kaivinkone oli (X6), sitä alaisempi oli työn tuottavuus. Koneen ajolinjavälin kasvaessa tuottavuus parani (X5). Aineiston määrän salliessa laskettiin konekohtaiset tuottavuusmallit. Tällöin malleihin tulivat mukaan samat työvaikeusmuutujat kuin koko aineistoa koskevassa mallissakin. Mallien selitysasteet (28,5–62,9%) jäivät kuitenkin koko aineistoa koskevan mallin selitysastetta alaisemmiksi.

Yksittäisten tekijöiden riippuvuussuhteita tarkasteltaessa koneen ajolinjavälin kasvaessa laikutuksen tuottavuus parani. Kivien runsastuneella lukumäärällä oli päinvastainen vaikutus. Ryhmissä sijaitsevilla jättöpuilla ei ollut vaikutusta tuottavuuteen (Taulukko 4).

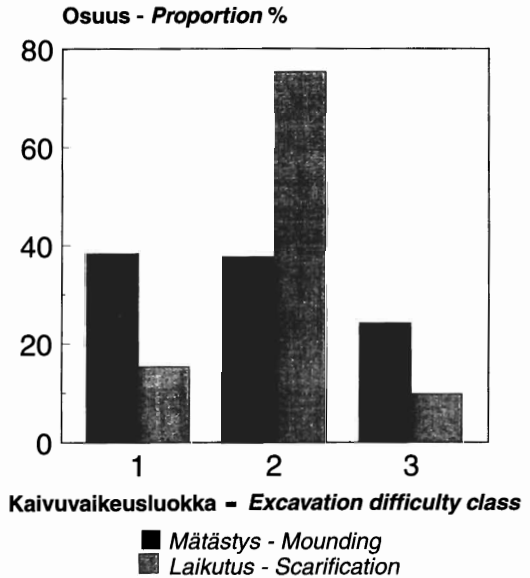
Laikutuksen tuottavuutta (Y) selitti 72 havainnon aineistossa parhaiten tilastollisesti erittäin merkitsevä ($F = 12,38$, $p < 0,001$) regressiomalli;

$$\log Y = -0,710492 - 0,01010 \times X7 - 0,004388 \times X2 + 0,03825 \times X5 - 0,009978 \times X6 \quad (2)$$

Taulukko 3. Kaivinkoneiden tuottavuus (hehtaaria per tehotunti) mätästyksessä ja laikutuksessa.

Table 3. The productivity of the studied excavators (hectares per effective hour) in mounding and scarification.

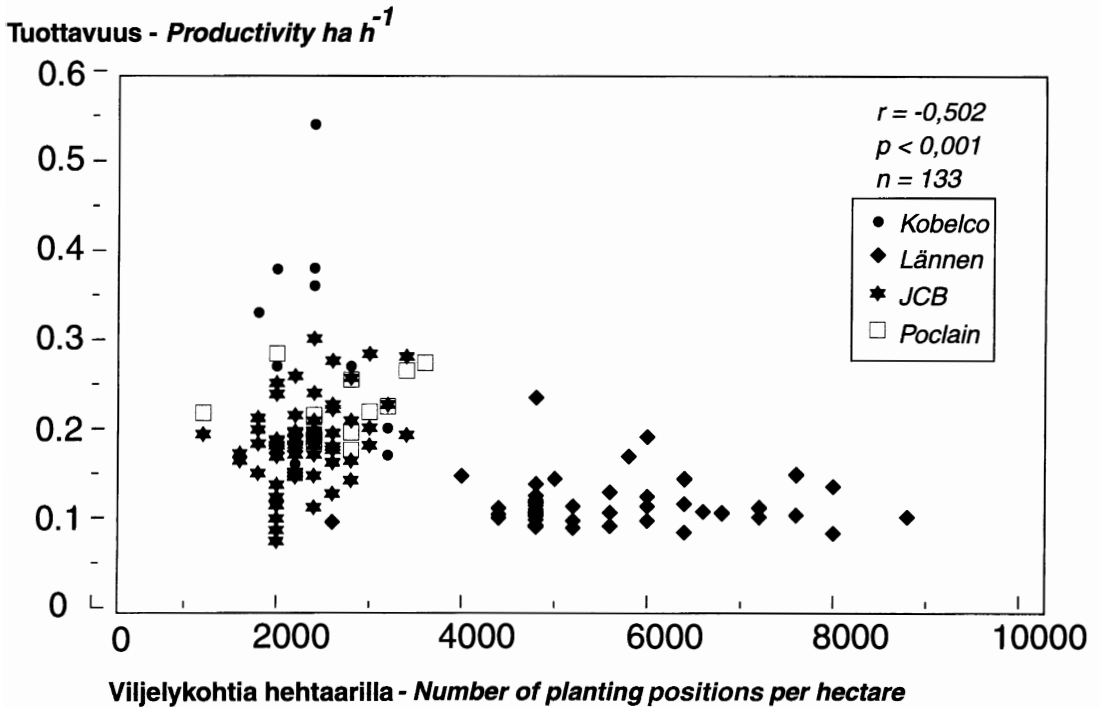
Konemerkki <i>Machine</i>	Keskiarvo <i>Mean</i>	Keskihajonta <i>Standard deviation</i>	Vaihteluväli <i>Range</i>	Koealoja, kpl <i>Number of sample units</i>
Mätästys – Mounding				
Kobelco 905 Lc II	0,31	0,12	0,16–0,54	10
Lännen T214 BC C	0,12	0,03	0,08–0,25	50
JCB 816 LC	0,19	0,05	0,07–0,30	62
Poclain 81 CK	0,23	0,04	0,18–0,28	11
Kaikki – Total	0,17	0,07	0,07–0,54	133
Laikutus – Scarification				
Kobelco 905 Lc II	0,32	0,09	0,12–0,53	34
Lännen T214 BC C	–	–	–	0
JCB 816 LC	0,22	–	–	1
Poclain 81 CK	0,31	0,09	0,18–0,57	37
Kaikki – Total	0,32	0,09	0,12–0,57	72



Kuva 2. Tutkimuksen kaivuvaikeusluokkakajakauma (%) työlajeittain.

Fig. 2. The excavation difficulty classes of the present study. Proportions (%) given by work types.

Mallissa (selitysaste 42,5%) tuottavuuteen vaikuttivat alentavasti turvekerroksen paksuus (X2) ja koneen lisääntynyt paino (X6). Myös kaivuvaikeuden lisääntyminen alensi laikutuksen tuottavuutta (X7). Koneen ajolinjavälin (X5) kasvu sopi myös malliin selittäväksi tekijäksi.



Kuva 3. Mätätystyön tuottavuus viljelykohtien lukumäärän funktiona eri konemerkeillä.

Fig. 3. Productivity in mounding as a function of planting positions by different machines.

Kahden koneen osalta laikutusaineisto riitti yksittäisten koneiden tuottavuusmallien laadintaan, jolloin malleihin tulivat mukaan samat työvaikeusmuuttujat kuin koko aineistossakin.

Mätätystyön tehoajamenekistä kului kaivinkoneilla siirtoihin 6–12 prosenttia. Laikutuksessa siirtojen osuus tehoajasta oli alle 10 prosenttia eli pääosa ajasta käytettiin varsinaiseen kaivuun ja kauhauksen liikkeisiin.

Mättäitä oli keskimäärin 1 920 kappaletta hehtaarilla. Kun lisäksi paljastettu kivennäismaa otetaan huomioon, viljelykohtia oli hehtaarilla keskimäärin 3 640 kappaletta. Maksimissaan viljelykohtia muodostui noin 8 800 kappaletta hehtaarille tutkitulla turvepellolla. Mättään pituus oli keskimäärin 170 cm, leveys 120 cm ja korkeus 28 cm. Vesiä poisjohtavien naveroiden keskisyvyys oli 73 cm. Naveroiden (koneen ajolinjavälin) etäisyys oli keskimäärin 16,7 metriä (Taulukko 2).

Laikutuksessa viljelykohtia oli keskimäärin 3 600 kappaletta hehtaarilla. Työn joutuisuuden kannalta laikutuksessa oli tarkoituksenmukaista tehdä kauhalla (330 cm × 75 cm) pitkiä ja kapeita laikkuja pienikokoisten yhden taimen laikkujen

sijasta. Ajolinjaväli oli mätätystyksessä keskimäärin 15,4 metriä (Taulukko 2).

Käyttötuntilaskelmat laadittiin Lauhasen (1993) sekä Lauhasen ja Takalon (1993) esittämien yksityiskohtaisten laskelmien pohjalta. Kaivinkoneen hankintahinnan kasvaessa 400 000 markasta 1 000 000 markkaan kohosivat käyttötuntikustannukset 268 markasta 388 markkaan. Jos työllisyys oli 6 kuukautta 10 kuukauden täystyöllisyyden sijasta, tuntikustannukset kohosivat 27–39 prosenttia.

TARKASTELU

Aikatutkimuksessa sovellettiin ojankaivututkimuksissa käytettyä paaluvälimenetelmää, joskin paaluvälillä seurantayksikkönä oli koneen ajolinjavälin levyinen, 15 metriä pitkä suorakaide (vrt. Aitolahti & Numminen 1969, Salo 1987, 1988, Lauhanen 1993).

Aineiston keruu päätettiin tehdä koneyrityksien ja metsäorganisaatioiden työtä vaikeuttamatta. Aineisto oli samaa kokoluokkaa kuin aikaisemmissa

työn havainnointitutkimuksissa (Hämäläinen 1984a, b, 1988), mutta se jakautui epätasaisesti konemerkkien, työmuotojen ja työmaiden kesken. Näin ollen kaivu vaikeus- ja työjälki muuttujia standardoimalla oli tarpeen laskea tuottavuudet kummallekin työmuodolle, joskin ongelmaksi tuli havaintojen vähäisyys yksittäisten koneyksiköiden kohdalla. Aineiston vähäisyys vaikeutti myös konekohtaisten tuottavuusmallien laadintaa, ja siksi mallit laadittiin vain mätästykseksi ja laikutukselle koko aineiston osalta.

Hämäläisen (1984a, b) mukaan kaivurimätästykseen tuottavuus oli keskimäärin 0,14 (vaihteluväli 0,11–0,20) hehtaaria käyttötuntia kohti. Toiminnallisen käyttöasteen ollessa 82 prosenttia tuottavuus tehotuntia kohti oli tällöin 0,17 ha h⁻¹. PATU M 100-kaivurilla keskituottavuus oli vastaavasti 0,22–0,35 hehtaaria tehotunnissa kaivu vaikeudesta riippuen (Huttunen 1992, Korhonen & Kumpare 1994). Tuottavuuden vaihtelu kaivinkonemätästyksessä oli varsin suurta (0,07–0,54 hehtaaria tehotunnissa). Kaivinkoneita voidaan pitää kuitenkin kaivureita tehokkaampina, sillä tässä tutkimuksessa viljelykohtia tehtiin selvästi enemmän kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Hämäläinen 1984a, b, 1988, Korhonen & Kumpare 1994). Kun runsasmätäinen ja kaivu vaikeudeltaan helppo turvepeltotyömaa jätettiin pois aineistosta, keskimääräinen tuottavuus tehotuntia kohti oli 0,21 ha h⁻¹. Samoin mätästykseen tuottavuus koko aineistossa hieman parani, kun työolot eri koneiden välillä vakioitiin.

Laikutuksessa kaivinkoneiden tuottavuus tehotuntia kohti oli keskimäärin 0,32 hehtaaria (vaihteluväli 0,12–0,57 ha h⁻¹). Tukijalattoman PATU M 100-kaivurin vastaavaksi tuottavuudeksi on aikaisemmin saatu 0,35 ha h⁻¹ (vaihteluväli 0,11–0,69 ha h⁻¹) (Korhonen & Kumpare 1994). Muita tutkimuksia ei ole olemassa tuottavuusvertailujen monipuolistamiseksi. Voidaan kuitenkin päätellä, että turvemaiden ja soistuneiden kankailla uudistusalan vaihteluun mukautuva samanaikainen mätästys ja laikutus parantavat työn tuottavuutta.

Kaivinkoneilla siirtyminen uudistusalan sisällä työasemasta toiseen vei noin 10 prosenttia tehoajanmenekistä sekä mätästyksessä että laikutuksessa. Kaivurimätästyksessä vastaavat siirrot uudistusalan sisällä veivät 24–31 prosenttia tehoajanmenekistä (Hämäläinen 1984a, b, 1988). Tukijal-

kojen liikuttelun takia kaivureilla kului enemmän aikaa siirtoihin kuin kaivinkoneilla. Sama havainto koski aikoinaan myös kunnostusajituksen tehoajanmenekkiä (Lauhanen 1993). Koneteknisestä kehityksestä huolimatta muokkaustyön tuottavuus ei ole kovin voimakkaasti lisääntynyt, koska työn vaatimukset ovat viljelykohteiden määrän suhteen kasvaneet.

Taulukko 4. Työn tuottavuuteen vaikuttavat tekijät korrelaatioanalyysin perusteella koko aineistossa koealoittain. Selitykset: r = korrelaatiokerroin, p = merkitsevyydestä, n = koealojen lukumäärä. (Ks. myös taulukko 2.)

Table 4. The factors affecting work productivity in mounding and scarification in the pooled data per sample units. Correlation analysis. Legend: r = correlation coefficient, p = significance of the coefficient, n = number of sample units. (See also Table 2.)

	r	p	n
Mätästys – Mounding			
Kaivu vaikeusluokka (1–3) <i>Excavation difficulty class (1–3)</i>	0,210	0,015	133
Kivien määrä (runsaus) <i>Number of stones</i>	–0,024	n.s.	133
Turverroksen paksuus, cm <i>Peat layer, cm</i>	–0,563	0,001	133
Jättöpuiden määrä <i>Number of residual trees</i>	0,003	n.s.	133
Koneen ajolinjaväli, m <i>Strip spacing, m</i>	0,154	0,076	133
Viljelykohtia, kpl ha ⁻¹ <i>Amount of planting positions per hectare</i>	–0,502	0,001	133
Laikutus – Scarification			
Kaivu vaikeusluokka (1–3) <i>Excavation difficulty class (1–3)</i>	–0,368	0,001	72
Kivien määrä (runsaus) <i>Number of stones</i>	–0,225	0,057	72
Turverroksen paksuus, cm <i>Peat layer, cm</i>	–0,161	0,178	72
Jättöpuiden määrä <i>Number of residual trees</i>	0,076	n.s.	72
Koneen ajolinjaväli, m <i>Strip spacing, m</i>	0,386	0,001	72
Viljelykohtia, kpl ha ⁻¹ <i>The amount of planting positions per hectare</i>	0,000	n.s.	72

Kuljettaja vaikuttaa yleensä osaltaan työn tuottavuuteen. Osa eroista johtuu paitsi kuljettajien ominaisuuksista, myös työntekijöiden läsnäolosta (Aitolahdi & Numminen 1969). Esimerkiksi konekaivumaksujen aikakaudella kuljettajat saattoivat työskennellä tutkimuksissa tavanomaista hitaammin, jotteivat kaivutaksat olisi laskeneet. Tässä tutkimuksessa laikutuksessa Poclain-kaivinkoneen kuljettajilla ei ollut kuitenkaan eroa tuottavuudessa samassa kaivu vaikeusluokassa.

Sekä mätästyksessä että laikutuksessa yksittäisten kvantitatiivisten tekijöiden vaikutus työn tuottavuuteen jäi alhaiseksi. Sama ilmiö on havaittu metsätyön tutkimuksissa aikaisemminkin (mm. Lauhanen 1993, Lauhanen & Takalo 1993), ja viimeksi kaivinkoneiden maastokelpoisuutta mallinnettaessa (Mulari ym. 1996).

Mätästyksen tuottavuus parani kaivu vaikeuden kasvaessa, mikä oli vastoin aikaisempia käsityksiä (Hämäläinen 1984a, b, 1988). Nykyisin kaikkiin kiviin ja kantoihin ei mätästyksessä kosketa maisemallisista syistä, joten kaivu vaikeus ei vaikuta tuottavuuteen niin voimakkaasti kuin ennen. Kaivu vaikeuden ja kivisyyden kasvaessa maaston kantavuus käytännössä paranee ja raskaiden kaivinkoneiden työskentely voi siten helpottua. Toisaalla metsätienrakennuksessa koneen painoluokan ja tehon kasvaessa riittävän suuriksi, ei kaivu vaikeusluokalla yksittäisenä tekijänä ollut vaikutusta työn tuottavuuteen (Ali-Raatikainen 1990).

Koneen painoluokan kasvaessa muokkaustyön tuottavuus aleni. Painoluokaltaan kevyin koneyksikkö (Kobelco) näytti selviytyvän muita tehokkaammin. Koneiden järeytyessä niiden liikeradat hidastuvat, ja kaivutyön tuottavuus alenee siitä syystä (Ali-Raatikainen 1990, Lauhanen 1993).

Muista tekijöistä koneen ajolinjavälän kasvu paransi mätästyksen ja laikutuksen tuottavuutta, kuten muissakin muokkaustutkimuksissa (Hämäläinen 1984a, b, 1988). Jättöpuiden määrä ei vaikuttanut muokkaustyön tuottavuuteen, jos ne sijaitsivat ryhmissä. Yhdellä uudistus alalla, jolla jättöpuut olivat jakautuneet tasaisesti, mätästystyön tuottavuus aleni 20 prosenttia. Hämäläisen (1988) mukaan runsas jättepuusto alensi kaivurimätästykseen tuottavuutta 10–15 prosenttia. Koneyrittäjien työn helpottamiseksi ja työn tuottavuuden lisäämiseksi jättöpuut tulisi sijoittaa uudistus alalle ryhmittäin. Kaivun kannalta jättöpuut tulisi mahdolli-

suuksien mukaan jättää vaikeisiin kivikkoihin ja pehmeikköihin.

Kaivinkoneiden toiminnallista käyttöasteetta ei tutkimuksessa seurattu. Hämäläisen (1984a, b) kaivuritutkimuksessa toiminnallinen käyttöaste oli 82 prosenttia. PATUM 100-koneyksikön toiminnallinen käyttöaste on ollut 86–92 prosenttia (Huttunen 1992, Korhonen & Kumpare 1994). Kunnostusojituksen käyttöasteet ovat olleet edellä mainittujen kanssa samaa tasoa (Salo 1987, 1988, Lauhanen 1993).

Mättäiden korkeus on herättänyt keskustelua toisaalta taimien selviytymisen, toisaalta uudistusalan kauneuden kannalta. Hämäläisen (1988) tutkimuksessa mättäiden korkeus oli keskimäärin 45–50 cm. Huttusen (1992) selvityksessä mättään korkeus oli 15–30 cm. Tässä tutkimuksessa mättäiden korkeus vastasi Laihon (1981) mätästystyölle asettamia vaatimuksia, joiden mukaan mättään korkeus olisi keskimäärin alle 30 cm.

Muuttuneiden työn vaatimusten takia (ks. edellä) mättäiden ja laikkujen, ja sitä kautta viljelykohtien määrä oli suurempi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Hämäläinen 1984a, b, Huttunen 1992, Korhonen & Kumpare 1994). Kasvan mätäs- tai laikkutiheys on alentanut työn tuottavuutta koneyrittäjän kannalta, mutta metsänomistajan kannalta viljelykohtien runsaus yleensä edesauttaa uudistamistuloksen onnistumista. Siksi tätä taustaa vasten jatkossa työn hinnoittelussa olisi kaivu vaikeuden ohella otettava huomioon myös mättäiden ja laikkujen lukumäärä sekä työn jälki yleensäkin. Toisaalta liian tehokas maanmuokaus voi kuitenkin parantaa joidenkin rikkakasvien kilpailukykyä puuntaimiin nähden. Erityisesti pellonmetsityskohteilla 1 000–50 000 elävää rikkakasvin siementä neliometrillä voi uhata taimikon alkukehitystä (Hytönen 1995).

Kustannuslaskelmissa palkkakustannukset ja hallintokustannukset oletettiin kaikilla koneilla vakioiksi (Lauhanen & Takalo 1993). Jos koneen toiminnallinen käyttöaste on 85 prosenttia, hehtaarin mätästys maksoi 400 000 markan kaivinkoneella 1 855 mk ja 1 000 000 markan koneyksiköllä 2 685 mk. Laikutuksessa vastaavat hinnat olivat 985 mk ha⁻¹ sekä 1 426 mk ha⁻¹. Niin tässä kuin muissakin tutkimuksissa esitetyt kustannuslaskelmat ovat suuntaa antavia esimerkkejä. Käytännön laskelmat ovat aina yrittäjäkohtaisia. Muun muassa koneen hankintahinta ja yrittäjän velkaisuusaste

vaikuttavat toiminnan kannattavuuteen keskeisesti.

Perinteisiin traktorikaivureihin verrattuna lavettisiirtojen merkitys korostuu kaivinkoneilla, varsinkin jos siirtoja on paljon (Salo 1987, 1988, Lauhanen 1993). Kunnostusojituksessa kaivinkoneiden kolmanneksen parempi tuottavuus kompensoi kuitenkin lavettiauton kustannukset kaivinkoneiden hyväksi (Lauhanen 1993). Maanmuokkauksessa näin ei asianlaita tuottavuustarkastelun perusteella ole. Koneyrittäjän saama kokonaiskatetuotto koostuu kuitenkin useasta, enemmän tai vähemmän kannattavasta työlajista ja vaihtelevasta liikevaihdosta. Kustannuslaskelmia eri työvaihtoehtojen välisiin katetuottovertailuihin onkin tarpeen kehittää vuositasoin työketteryyden optimoimiseksi ja liikevoiton maksimoimiseksi. Kustannustehokkuuden lisäämiseksi tarvitaan myös kone- ja laitekehittelyä.

KIITOKSET

Yhteispohjoismaiseen NSR-projektiin 37/1993 "Anläggningsmaskiner som basmaskiner inom skogsbruket" (maanrakennuskoneet metsätyössä) kuuluva osatutkimus toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla. Metsähallituksen Haapajärven tulosyksikkö sekä Kälviä-Ullavan ja Kalajokilaakson metsänhoitoyhdistykset olivat tutkimuksessa suureksi avuksi. Seurannassa mukana olleet ammattitaitoiset koneyrittäjät mahdollistivat tutkimuksen toteutuksen. Metsätalousteknikot Taisto Jaakola ja Tero Takalo vastasivat aineiston keruusta ja avustivat raportin viimistelyssä. Ohjelmoija Keijo Polet sekä atk-kirjoittaja Taina Kuokkanen työstivät tutkimuksen kuvat. MML Arto Rumukainen, MML Jyrki Hytönen sekä toimituksen valitsemat ennakkotarkastajat tekivät varteen otettuja parannusehdotuksia käsikirjoitukseen. Kaikille edellä mainituille parhaimmat kiitokset.

KIRJALLISUUS

Aitolahti, M. & Numminen, E. 1969. Metsäojakaivureiden työteho ja ehdotus kaivu vaikeusluokitukseksi (Summary: On the efficiency of light excavators in forest ditching and a proposal for the classification of digging difficulty). *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 67(2): 1–48.

Ali-Raatikainen, A. 1990. Metsätien rungon rakentamisen tuottavuusmalli. *Keskusmetsälautakunta Tapio*. Moniste. 27 pp.

Huttunen, I. 1992. PATU M 100 vaotusmätästyksestä. *Tutkimus*. Joensuun metsä- ja puutalousoppilaitos. 29 pp.

Hytönen, J. 1995. Peltojen metsitys vaatii taitoa ja tietoa. Teoksessa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). *Peltojen metsitysmenelmät*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 5–11.

Hämäläinen, J. 1984a. Kaivurilla suoritettujen mätästysten ajankäyttöjakauma, tuotostaso ja työvaikeustekijät (Abstract: Time distribution, performance level and work-difficulty factors for mounding with a tractor digger). *Metsätehon katsaus, Metsäteho Review* 6. 4 pp.

Hämäläinen, J. 1984b. Kaivurimätästys maanmuokkauksessa. *Koneurakoitsija* 5: 24–26.

Hämäläinen, J. 1988. Työmenetelmän vaikutus kaivurilla mätästysten ajanmenekkiin (Abstract: The effect of the working method on time expenditure for mounding with a tractor digger). *Metsätehon katsaus, Metsäteho Review* 5. 4 pp.

Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Maaston vaikutus maanmuokauslaitteiden työjälkeen. *NSR-projekti* (Abstract: Effects of terrain on work quality of different site preparation machines. NSR-Project). *Metsätehon tiedotus, Metsäteho report* 399. 15 pp.

Hämäläinen, J. & Vastamäki, A. 1991. Maanmuokkauksen menetelmät ja konekalusto vuonna 1989 (Abstract: Methods and machinery for site preparation in 1989). *Metsätehon katsaus, Metsäteho Review* 10. 8 pp.

Johansson, J. 1994. Översikt av erfarenheter av anläggningsmaskiner som basmaskiner inom skogsbruket. *Delrapport av ett NSR-projekt* (Abstract: Earth-moving equipment as base machines in forest work – an overview. A report from a project sponsored by the Nordic Forest Technology Council (NSR)). The Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Forestry, Department of Operational Efficiency. Garpenberg. *Research Notes* 268. 55 pp.

Korhonen, P. & Kumpare, T. 1994. PATU M 100-metsäkaivukone maanmuokkauksessa. *Metsähallitus, Kehittämissyksikkö*. *Tiedote* 4. 4 pp.

Laiho, O. 1981. Metsänviljelyalojen muokkaaminen mätästämällä. *Koneurakoitsija* 10: 12–14.

Lauhanen, R. 1993. Kaivukaluston tuottavuus, työnäkö ja kustannukset kunnostusojituksessa (Summary: The productivity, work quality and the costs of employing backhoes and excavators in ditch network maintenance). *Suo* 44: 77–86.

Lauhanen, R. 1993 & 1994. Kaivukaluston aiheuttamat puustovauriot kunnostusojituksessa (Summary: Tree damage caused by excavating machines in ditch network maintenance). *Suo* 45: 33–46.

Lauhanen, R. & Takalo, T. 1993. Yksitelainen LA-MA 10 -kaivuri metsäojien perkauksessa (Abstract: LA-MA 10 single track backhoe in forest ditch cleaning). *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 458. 20 pp.

Mulari, J., Haarlaa, R., Sun, X. & Wang, J. 1996. Mobility and feasibility of tracked excavators in forestry operations. *Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja* 11. 109 pp.

Mäkelä, M. 1990. Turvemaiden koneellinen puunkorjuu kesäaikaisessa ensiharvennuksessa (Abstract: Mecha-

- nized first thinning on unfrozen peatland). Metsätehon katsaus, Metsäteho review 4. 6 pp.
- Ojitusmätästyksen maksut 1.4.1991–31.3.1992. 1991. Metsäalan Kuljetuksenantajat ja Koneyrittäjien liitto ry. 8 s.
- Salo, H. 1987. Kaivukoneiden ajankäyttö, tuottavuus ja työnjälki metsäojituksenessa. Metsähallitus. Kehittämisaosto. Hirvas. Koeselostus 239. 26 pp.
- Salo, H. 1988. Kaivukoneiden ajankäyttö ja tuottavuus metsäojituksenessa. Time consumption and productivity of excavators in forest drainage. *Suo* 39: 51–59.
- Takalo, S. & Väyrynen, S. 1982. Terri-telamaasturi puutavarantasaastokuljetuksessa (Abstract: Terri light crawler in timber transport). *Folia Forestalia* (Helsinki) 538. 21 pp.

SUMMARY:

The productivity, work quality and operation costs of excavators in site preparation on peatlands

As a part of the project sponsored by the Nordic Forest Technology Council this study aimed at finding out the productivity, work quality and costs of excavators in site preparation for regeneration on paludified forest soils and peatlands. The main emphasis was on mounding and scarification. Four excavators (Table 1, Fig. 1) were studied in 1994–1995 during the unfrozen period in central and northern Ostrobothnia, western Finland.

In mounding, the mean productivity of the excavators was 0.17 hectares per effective hour (Table 3). The proportion of excavating time was 88–94% of the effective time, while the proportion of removal in the excavating unit was 6–12%.

In mounding, the productivity was affected by the thickness of peat layer, the depth of the ditch, as well as the distance between ditches (Table 4). If the residual trees were in the groups on the regeneration area, they did not affect work productivity. If those trees were distributed over all of the regeneration area, the productivity of the excavator was about 20% lower than that on the area without residual trees.

In mounding, the productivity decreased with the increasing number of planting positions (Fig. 3). The increasing weight of the machine de-

creased productivity, too. In mounding, the amount of planting positions was 1 834–3 638 per hectare. The mean height of the mound was 27.8 cm (23–39 cm).

In scarification, the work productivity was higher than in mounding (Table 3). The productivity was affected by excavation difficulty class, the number of stones, as well as the thickness of the peat layer (Table 4). In addition, the increasing weight of the machine decreased productivity. The residual trees in groups did not affect work productivity.

In scarification, the mean width of strip spacing was 8–18 m (15.4 ± 0.2 m). The length of the scarified strip was 180–450 cm and the width 50–100 cm. The number of planting positions was 1 800–4 800 per hectare.

The operation costs were calculated to be 268–388 FIM per hour if the price of the excavator was 400 000–1 000 000 FIM. If the excavator was employed for only 6 months instead of 10, the unit costs per hour increased by 27–39%. In mounding, the working costs were 1 855–2 685 FIM per hectare, and in scarification 985–1 426 FIM per hectare, depending on the price of the machine.

Received 22.2.1996, accepted 31.10.1996