

RISTO LAUHANEN

KAIVUKALUSTON TUOTTAVUUS, TYÖNJÄLKI JA KUSTANNUKSET KUNNOSTUSOJITUKSESSA

The productivity, work quality and the costs of employing backhoes and excavators in ditch network maintenance

Lauhanen, R. 1993. Kaivukaluston tuottavuus, työnjälki ja kustannukset kunnostusojituksessa. (Summary: The productivity, work quality and the costs of employing backhoes and excavators in ditch network maintenance). — *Suo* 44(4-5):77-86. Helsinki. ISSN 0039-5471

Four backhoes and four excavators were studied in different excavation difficulty classes (1-5) during the unfrozen period in the western part of Finland. The productivity (per effective hour) of the backhoes in ditch digging (additional ditching) was 54-172 m/h and 68-202 m/h in ditch cleaning. The productivity of the excavators was 114-289 m/h and 88-250 m/h, respectively. Productivity decreased as the difficulty class increased. It was affected by the width of the ditch line opening, the stoniness, and ditch depth. Productivity seemed to be affected by the machine operator, too. The work quality was acceptable. The operating costs were 268-388 FIM per hour for the machines costing 400 000-1000 000 FIM.

Key words: additional ditching, ditch cleaning, excavating machines, forest drainage, work studies

R. Lauhanen, The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, FIN-69100 Kannus, Finland

JOHDANTO

Metsäojituksessa on siirrytty uudisojituksesta metsäojien kunnostukseen. Kunnostusojituksilla ja harvennushakkuilla ylläpidetään suometsien kasvua ja terveyttä (Ahti ym. 1988, Ahti 1991). Vuotuinen kunnostusojitustarve on yli 100 000 hehtaaria, ja suurin työmäärä on 1960-luvun loppupuolen ojastojen perkauksessa (Keltikanen ym. 1986, Päivänen 1990). Kyse on kaiken kaikkiaan varsin mittavasta ja vaativasta tehtävästä.

Metsäojituksen koneellistaminen käynnistyi aikoinaan aurauksen näkökulmasta (Huikari 1958). Myöhempien tutkimusten, kone- ja laitekehittelyn sekä käytännön kokemuksen perus-

teella metsäojat tehdään nykyisin kaivutyönä (Päivänen 1963, Numminen 1964, Aitolahti & Numminen 1969, Niskanen 1977, 1980a, b, c, Vuollekoski 1983, Härmälä & Ari 1990). Viimeisin kaivureiden maksuperustetutkimus on julkaistu 1980-luvun puolivälissä (Ari 1985). Salo (1987, 1988) on Metsähallituksen työmailla selvittänyt kolmen kaivinkoneen tuottavuutta ja työnjälkeä. Sittenmin uusia konetyyppejä ja -merkkejä on tullut markkinoille. Erityisesti telalustaiset kaivinkoneet ovat yleistyneet metsäojituksessa viime vuosina.

Metsänparannustoiminta elää 1990-luvun alussa voimakasta murroskautta. Vähenevät metsänparannusvarat, kovenevat urakkatarjouskilpailut ja mahdollinen arvonlisävero vaativat

Maatalouden tutkimuskeskus

KTL/Maanympäristökeskuksen ja -työkalun tutkimusala

31600 JOKIOJENEN

Puh. 916-1881

Fax 916-188 437

sekä yrittäjiltä että kalustolta jatkossa entistä enemmän. Maanomistajien sekä yleisen mielipiteen vaatimuksesta työn toteuttajien ja laitevalmistajien on ajateltava entistä enemmän myös ympäristökysymyksiä. Hyvälle työnjäljelle sekä ojanvarsi puuston vaalimiselle on vastaisuudessa annettava nykyistä suurempi painoarvo.

Metsänparannusalan eri osapuolet ovat nähneet tarpeelliseksi arvioida kaivukalustoa ja sen kehittämistarpeita. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää yksityismetsissä käytettävän kaivukaluston tuottavuutta, käyttöastetta, työnjälkeä ja kustannuksia kesäajan metsäojituksessa. Erityisesti selvitetään ja mallinetaan kaivutyön tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Varsinaisessa seurannassa oli mukana neljä kaivuria ja neljä kaivinkonetta Keski-Pohjanmaan, Pohjois-Pohjanmaan, sekä Satakunnan metsälautakuntien alueilla (Taul. 1). Lisäksi seurattiin iäkästä vuosimallin 1983 Vammas Major -kaivuria sekä poikkeuksellisesti 120–130 cm syvää ojaa kaivanutta Hitachin 100 M EX -kaivinkonetta. Koneyksiköt oli varustettu uudisojitukseen sopivilla muotokauhoilla. Muista kaivureista poiketen PATU M 100 oli ilman kaivutukia. Vammas ja Lännen S 10 -kaivureiden valmistus on lopetettu, mutta konemerkit ovat edelleen yleisessä käytössä.

PATU M 100 -kaivuria koskeva esitutkimus tehtiin syyskesällä 1991 (Lauhanen 1992). Varsinainen tutkimusaineisto kerättiin touko-joulukuussa 1992 kesäajan olosuhteissa. Työmaat olivat metsälautakuntien suunnittelemaa yksityismaiden kunnostusojituskohteita, joiden ojalinjat oli hakattu vähintään viisi metriä leveiksi (Taul. 2). Aineisto kerättiin sarkaojista tai mitoiltaan niihin verrattavista niska-, pistoja haarukkaojista. Tutkimukseen valittiin mukaan kokeneita, ammattitaitoisia koneyrityksiä. PATUlla, Åkermanilla ja Kobelcolla vuorotteli kaksi kuljettajaa. Tämä mahdollisti selvittää kuljettajan vaikutusta työn tuottavuuteen. Muilla koneilla oli yksi kuljettaja.

Aikatutkimuksessa selvitettiin koneyksiköiden kaivutyön tuottavuudet (tehotuntituotokset) sekä tehoajan jakaumat. Tehoaikaan luettiin kaivutyön lisäksi siirtymiset ojalinjalla. Seurantayksiköksi määritettiin 20 metrin paaluväli, jonka kaivamiseen kulunut aika (cmin) mitattiin käsiajanotolla (Vuollekoski 1983, Ari 1985, Lauhanen 1992). Kaikkiaan aineistoa kerättiin 1221 paaluväliltä (Taul. 3). Tehoajan jakauma mitattiin havainnoimalla koneen yksittäisiä työvaiheita (Takalo & Väyrynen 1982, Takalo & Myllymäki 1984, Heikka 1985, Lauhanen 1992).

Paaluväliltä määritettiin ajanmenekin lisäksi ojan keskisyvyys (cm) ja vanhojen konekaivumaksujen mukainen kaivuvaikeusluokka (Konekaivumaksut... 1991). Lisäksi määritettiin maa-

Taulukko 1. Tutkimuksen konekalusto.

Table 1. General information of the studied machines.

Konemerkki <i>Machine</i>	Vuosimalli <i>Year model</i>	Painoluokka <i>Weight class</i>	Metsälautakunta <i>District forestry board</i>
<i>Kaivurit - Backhoes</i>			
Vammas Major	1990	9,0 ton	Satakunta
PATU M 100	1991	10,5 ton	Keski-Pohjanmaa
Lännen S 10	1988	9,5 ton	Keski-Pohjanmaa
Lännen S 30	1992	10,4 ton	Pohjois-Pohjanmaa
<i>Kaivinkoneet - Excavators</i>			
Hitachi 150 EX (A)	1990	17,0 ton	Keski-Pohjanmaa
Kobelco	1991	20,8 ton	Keski-Pohjanmaa
Hitachi 150 EX (B)	1990	17,0 ton	Pohjois-Pohjanmaa
Åkerman H7 C	1989	15,4 ton	Keski-Pohjanmaa

Taulukko 2. Työmaatiedot työmuodoittain ja konetyypeittäin (T = kaivurit, K = kaivinkoneet).

Table 2. General information on the work sites by work type and machine type (T = backhoes, K = excavators).

	Täydennysojitus <i>Ditch digging (additional ditching)</i>		Ojan perkaus <i>Ditch cleaning</i>	
	T	K	T	K
Paaluvälejä, kpl <i>Number of sample units</i>	326	413	293	189
Ojan keskisyvyys, cm <i>Mean ditch depth, cm</i>	87	87	92	95
Keskim. kaivuvaikeusluokka (1-5) <i>Mean excavation difficulty class (1-5)</i>	2,7	2,5	2,4	2,5
Liekopuut, kpl paaluvälillä <i>Number of embedded tree trunks per sample unit</i>	0,3	0,8	0,1	1,0
Kivisyys (läpimitta \geq 50 cm kpl paaluvälillä) <i>Stoniness (number of stones with diameter \geq 50 cm per sample unit)</i>	3,0	6,0	1,0	4,0
Keskim. turpeen paksuus, cm <i>Mean thickness of peat layer, cm</i>	30	36	31	50
Keskim. ojalinjan minimileveys, cm <i>Mean minimum width of ditch opening per sample unit</i>	629	571	603	680
Runkoluku, r/ha <i>Number of stems per hectare along ditch (per sample unit)</i>	1345	1323	1517	1530

Taulukko 3. Tutkittujen 20-metrin paaluvälien jakauma kaivuvaikeusluokittain ja koneyksiköittäin.

Table 3. Distribution of sample units (20 meters each) by excavation difficulty class and machine type.

Kone <i>Machine</i>	Täydennysojitus <i>Ditch digging (additional ditching)</i>						Ojanperkaus <i>Ditch cleaning</i>					
	1	2	3	4	5	Yhteensä <i>Total</i>	1	2	3	4	5	Yhteensä <i>Total</i>
	Kaivuvaikeusluokka (1-5) <i>Excavation difficulty class (1-5)</i>											
	Paaluvälejä, kpl — <i>Number of sample units</i>											
Vammass Major	–	29	39	16	2	86	–	39	30	2	–	71
PATU M 100	–	34	40	29	–	103	–	32	23	11	–	66
Lännen S 10	30	37	4	–	–	71	12	47	21	–	–	80
Lännen S 30	–	10	34	17	5	66	–	36	34	6	–	76
Hitachi 150 EX (A)	–	13	48	9	–	70	–	41	36	4	1	82
Kobelco	2	44	57	15	–	118	1	15	14	–	–	30
Hitachi 150 EX (B)	38	67	32	–	–	137	10	4	–	–	–	14
Åkerman H7 C	3	24	55	6	–	88	–	23	40	–	–	63
Yhteensä <i>Total</i>	73	258	309	92	7	739	23	237	198	23	1	482

laji, turpeen paksuus (cm), oja-aukon työ-
tekninen minimileveys (cm) (Isomäki & Nie-
mistö 1990) sekä metsikön keskimääräinen run-
koluku. Samoin kartoitettiin kivisyys eli läpi-
mitaltaan yli 50 cm kivien määrä (Ali-Raatikai-
nen 1990) sekä ainespuun vahvuisten liekopui-
den lukumäärä.

Tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä tarkasteli-
ttiin varianssianalyysin avulla. Varianssin yhtä-
suuruus tutkittiin Levene'n testillä ja muuttujille
tehtiin logaritmi- tai muut tarvittavat muunnok-
set. Tukey'n testillä selvitetiin yksittäisten teki-
jöiden väliset tuottavuserot. Kvantitatiivisten
muuttujien osalta tuottavuutta selitettiin regres-
siomalleilla (Ranta ym. 1989). Aineiston tilas-
tollinen käsittely tehtiin BMDP-ohjelmistolla
(BMDP PC-90...).

Seurantatutkimuksessa selvitettiin koneyk-
siköiden toiminnallista käyttöastetta tärinäkel-
lon avulla. Kaivureita seurattiin 84 työvuoroa ja
kaivinkoneita 61 vuoroa. Käyttöastetta lasket-
taessa alle 15 minuutin keskeytykset sisällytettiin
käyttöaikaan (Ari 1985, Salo 1987). Koneiden
ergonomiaa ja työoloja käsittelevä lomake täy-
tettiin erikseen.

Työnjäljen osalta arvioitiin ojan laatu. Li-
säksi mitattiin ojamaiden etäisyys ojan reunasta
paitsi PATU M 100 -kaivurin osalta. Puustoa-
vauriot inventoitiin jälkikäteen, ja niitä tarkas-
tellaan jatkossa toisaalla. Ojaluisikan ja pohjan
laadun arviointi perustui Aitolahden ja Nummi-
sen (1969) luokitukseen:

luokka 1. luiska ja pohja sileitä, ei maa-ainesta
ojassa,

luokka 2. luiska ja pohja hieman epätasaisia,
hieman maa-ainesta ojassa,

luokka 3. luiska ja pohja epätasaisia, runsaasti
maa-ainesta ojassa.

Käyttötutkimukset laadittiin Vuollekosken
(1983), Lauhasen (1992) sekä Lauhasen ja
Takalon (1993) esittämien yksityiskohtaisten
laskelmien pohjalta. Erityistä huomiota kiinni-
tettiin koneen hankintahinnan ja työllisyyden
kustannusvaikutuksiin.

TULOKSET

Kaivureiden tuottavuus oli täydennysojituksessa
keskimäärin 54–172 m/h ja ojan perkauksessa
68–202 m/h (Kuva 1). Tuottavuserot olivat

konetyypeittäin ja työmuodoittain erittäin mer-
kitseviä¹⁾ ($F_{\text{konetyyppi}}=272,30^{***}$,
 $F_{\text{työmuoto}}=98,43^{***}$, $F_{\text{yhdysojitus}}=0,11^{\text{ns}}$). Kai-
vinkoneet olivat kaivureita noin 33% tehokkaam-
pia sekä täydennysojituksessa (114–289 m/h) että
ojan perkauksessa (88–250 m/h).

Koneyksiköiden välisiä tuottavuuseroja tar-
kasteltiin kaivu vaikeusluokissa 2-3. Täyden-
nysojituksessa ($F_{\text{koneyksikkö}}=165,14^{***}$) kaikki
muut paitsi Lännen kaivurit poikkesivat keski-
tuottavuuden suhteen toisistaan. Perkauksessa
($F_{\text{koneyksikkö}}=7,61^{***}$) muut paitsi Vammass
Major ja Lännen S 30 erosivat toisistaan. Kai-
vinkoneista Åkerman H7C poikkesi tuot-
tavuudeltaan kaikista muista koneyksiköistä
täydennysojituksessa ($F_{\text{koneyksikkö}}=166,68^{***}$).
Perkauksessa ei ollut merkitseviä tuottavuu-
seroja kaivinkoneiden välillä. Kokoluokaltaan ja
vuosimalliltaan samanlaiset Hitachin 150 EX -
koneyksiköt eivät eronneet toisistaan tuottavuu-
den suhteen kummassakaan työmuodossa.

Iläkkään, vuosimallia 1983 olleen Vammass
Majorin tuottavuus oli 50-60% muiden kaivu-
reiden tuottavuudesta, ja tavanomaista syvempää
ojaa kaivaneen Hitachi 100 M EX:n tuottavuus
vastaavasti 90% muiden kaivinkoneiden tuotta-
vuudesta. Näiden koneiden osalta ei muita tu-
loksia laskettu ja tuottavuutta mallinnettu.

Kaivu vaikeusluokissa (kvl) 2–3 kuljettaja
näytti vaikuttavan työn tuottavuuteen erityisesti
uuden ojan kaivussa. Kobelcon kuljettajat erosivat
toisistaan sekä täydennysojituksessa
($F_{\text{kuljettaja}}=18,04^{***}$, $F_{\text{kvl}}=13,24^{***}$,
 $F_{\text{yhdysojitus}}=1,08^{\text{ns}}$) että perkauksessa
($F_{\text{kuljettaja}}=2,81^*$, $F_{\text{kvl}}=6,21^*$, $F_{\text{yhdysojitus}}=1,38^{\text{ns}}$).
Vastaavasti PATU M 100-kaivurin kuljettajat
erosivat tuottavuudessa kummassakin työ-
muodossa. Åkermanin kuljettajilla oli eroa vain
ojan perkauksessa ($F_{\text{kuljettaja}}=26,25^{***}$, $F_{\text{kvl}}=6,97^{**}$,
 $F_{\text{yhdysojitus}}=1,01^{\text{ns}}$).

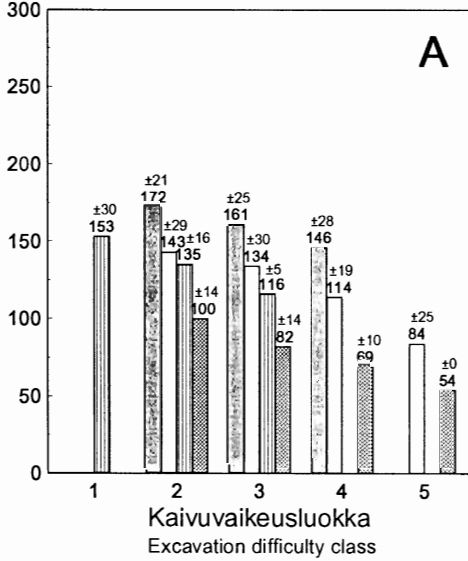
Maalajin vaikutusta tuottavuuteen tarkasteltiin
työmuodoittain ja konetyypeittäin
kaivu vaikeusluokissa 2–4. Kaikissa tapauksissa
savi oli hitain kaivettava maalaji. Maalajin vaikutus
tuottavuuteen korostui selvimmän kaivureilla
täydennysojituksessa ($F_{\text{maalaji}}=46,36^{***}$,
 $F_{\text{kvl}}=7,28^{***}$, $F_{\text{yhdysojitus}}=4,02^{***}$).
Kaivinkoneilla perattaessa maalajin vaikutus tuot-
tavuuteen ei ollut enää merkitsevä.

Konetyypeittäin ja työmuodoittain laadittiin
tuottavuutta selittävät regressiomallit, jotka ja-
kaumaoletusten ja residuaalitarkastelun perus-

1) *** p<0.001
** p<0.01
* p<0.05
n.s. p>0.10

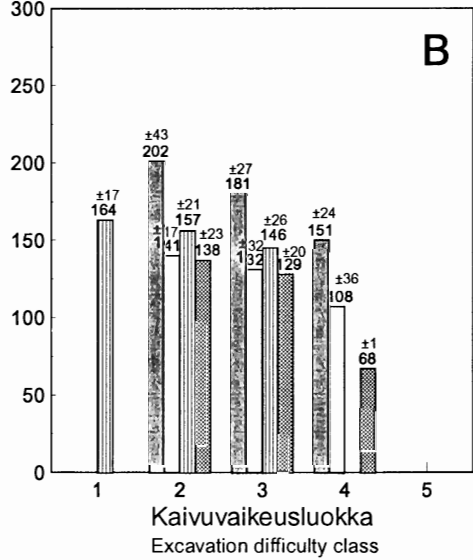
Tuottavuus, m/h

Productivity



Tuottavuus, m/h

Productivity



□ PATU M 100

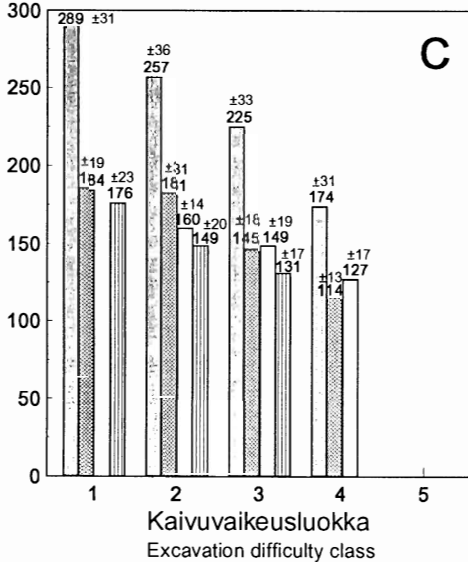
▨ LÄNNEN S 10

□ LÄNNEN S 30

▨ VAMMAS MAJOR

Tuottavuus, m/h

Productivity



□ ÅKERMAN H7 C

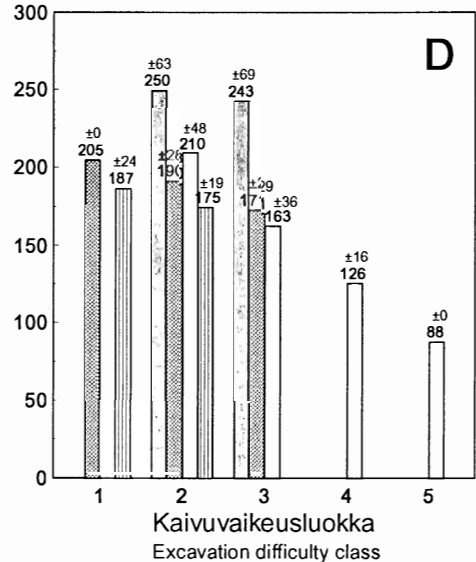
□ HITACHI 150EX (A)

▨ KOBELCO

▨ HITACHI 150EX (B)

Tuottavuus, m/h

Productivity



Kuva 1. Kaivureiden ja kaivinkoneiden keskimääräinen tuottavuus ja sen keskihajonta kaivu vaikeusluokittain ja työmuodoittain. Selitykset: A = kaivurit täydennysojituksessa ja B = perkauksessa, C = kaivinkoneet täydennysojituksessa ja D = perkauksessa.

Figure 1. Mean productivity and its standard deviation of the backhoes and excavators by excavation difficulty class and work type. Legend: A = backhoes in ditch digging (additional ditching), B = backhoes in ditch cleaning, C = excavators in ditch digging (additional ditching), D = excavators in ditch cleaning.

teella sopivat aineistoon. Tuottavuuteen vaikuttivat eniten ojalinjan työtekniinen minimileveys, kaivetun ojan syvyys sekä kivien lukumäärä paaluvälillä (Taul. 4). Kaivureilla perattaessa puuston runkoluvun kasvu alensi tuottavuutta. Kaivinkoneiden kauaksi siirtämät ojamaat ilmenivät täydennysojituksen tuottavuudessa.

Tehoajan jakaumissa oli vaihtelua, mikä johtui kuljettajien työtavoista. Tukijalkojen liikuttelun takia kaivureilla kului enemmän aikaa siirtoihin kuin kaivinkoneilla. Kaivureilla kului alimmillaan siirtoihin 14% tehoajasta. Vastaava lukuarvo kaivinkoneilla oli 4%. Ilman kaivutukia olleen PATU M 100 -kaivurin siirtoihin kului noin 10% tehoajasta. Perkauksessa siirtoihin kului suhteessa enemmän aikaa kuin täydennysojituksessa, koska poistettavat maamassat olivat perkauksessa vähäisempiä.

Seurantatutkimuksen perusteella kaivureiden toiminnalliset käyttöasteet olivat 81–94% (Kuva 2). Vastaavasti kaivinkoneiden käyttöasteet oli-

vat 76–91%. Yksittäisiä keskeytyksiä tai sivutöitä ei ollut mahdollista tarkasti arvioida. Vaikeita konerikkoja ei kuitenkaan sattunut.

Koko aineistossa ojaluiskan ja pohjan laadun jakaumat painottuivat molemmissa työmuodoissa mediaaniluokkaan 2 (Taul. 5). Kaivinkoneet siirsivät ojamaat kauemmaksi kuin kaivurit. Täydennysojituksessa ojamaiden etureunan etäisyys ojan reunasta oli kaivureilla 71–104 cm ja kaivinkoneilla 83–116 cm. Perkauksessa etäisyydet olivat vastaavasti 61–120 cm ja 84–116 cm. Ojamaiden takareunan etäisyys oli täydennysojituksessa kaivureilla 331–366 cm, ja kaivinkoneilla 392–437 cm. Perkauksessa vastaavat luvut olivat 317–359 cm ja 370–420 cm.

Koneen hankintahinnan noustessa 400 000 markasta 1 000 000 markkaan tuntikustannukset kohosivat 268 markasta 388 markkaan. Tuntikustannukset kasvoivat 27–39%, kun työllisyys oli 6 kuukautta 10 kuukauden täystyöllisyyden

Taulukko 4. Tuottavuuteen vaikuttavat tekijät konetyypeittäin ja työmuodoittain. Y = tuottavuus (m/h), X1 = ojalinjan työtekniinen minimileveys (cm), X2 = ojan syvyys (cm), X3 = paaluvälin kivisyys (läpimitaltaan ≥ 50 cm kivien lukumäärä), X4 = paaluvälin runkoluku (r/ha), X5 = ojamaiden takareunan etäisyys ojan reunasta (cm). R^2 = mallin selitysaste, F= mallin merkittävyys, n= havaintojen lukumäärä. Ojalinjan työtekniinen minimileveys oli laskelmissa alle 999 cm. Lisäksi BMDP:n 9R-ohjelma poisti poikkeavat havainnot aineistosta.

Table 4. Factors affecting productivity by machine and work type. Y = productivity (m/h), X1 = minimum width of ditch opening (cm), X2 = ditch depth (cm), X3 = stoniness (number of stones with diameter ≥ 50 cm per sample unit), X4 = number of stems per hectare along ditch opening (per sample plot), X5 = distance between edge of ditch and back edge of mounds of excavated soil (cm). R^2 = coefficient of determination, F=significance of model, n=number of observations. The minimum width of ditch line opening of less than 999 cm was applied in the models. BMDP's 9R-subprogram considered the outliers of the pooled data.

Kaivurit täydennysojituksessa *Backhoes in ditch digging (additional ditching)*

$$Y = 250,03 + 0,0629 \cdot X1 - 1,742 \cdot X2 - 1,249 \cdot X3; R^2 = 0,328, F = 45,46^{***}, n = 283.$$

Kaivurit perkauksessa *Backhoes in ditch cleaning*

$$1/Y = -0,173 \cdot 10^{-5} \cdot X1 + 0,0000758 \cdot X2 + 0,263 \cdot 10^{-6} \cdot X4 + 0,000266 \cdot X3; R^2 = 0,484, F = 61,73^{***}, n = 268.$$

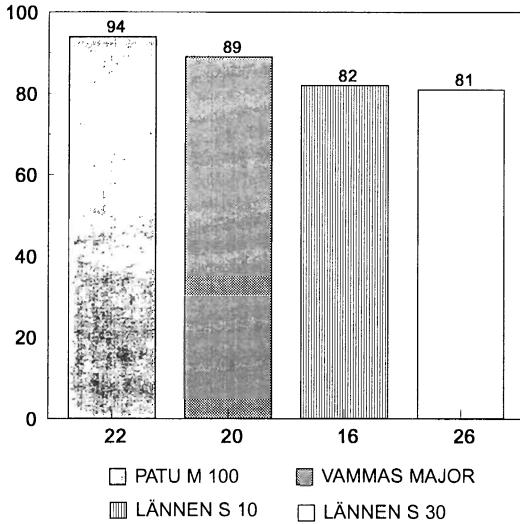
Kaivinkoneet täydennysojituksessa *Excavators in ditch digging (additional ditching)*

$$1/\sqrt{Y} = 0,0656 - 0,261 \cdot 10^{-7} \cdot X1^2 + 0,000120 \cdot X2 + 0,0000178 \cdot X5 + 0,000587 \cdot X3; R^2 = 0,366, F = 54,95^{***}, n = 386.$$

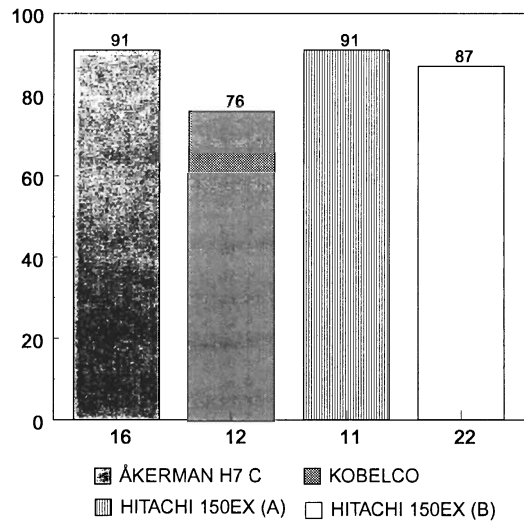
Kaivinkoneet perkauksessa *Excavators in ditch cleaning*

$$1/Y = 0,00183 - 0,145 \cdot 10^{-5} \cdot X1 + 0,0000416 \cdot X2 + 0,000124 \cdot X3; R^2 = 0,342, F = 26,19^{***}, n = 155.$$

Käyttöaste, %
Operational efficiency



Käyttöaste, %
Operational efficiency



Kuva 2. Kaivureiden (vas.) ja kaivinkoneiden (oik.) toiminnalliset käyttöasteet (%). Vaaka-akselilla on seurantavuorojen lukumäärä.

Figure 2. The operational efficiency of the backhoes (left) and excavators (right) (%). The number of the monitored work shifts is set out on the x-axis.

sijasta. Vuokralavetti aiheutti kaivinkoneille lisäkustannuksen 25 mk/h (7–10%). Kaivinkoneiden parempi tuottavuus kuitenkin kompensoi eron.

Kaivinkoneilla oli kaivureihin nähden helpompi siirrellä maamassoja. Lisäksi ojalinoilla olevien suurikokoisten kivien siirtely kävi kaivinkoneilla kaivureita kätevämmän. Kaivureilla oli lähes poikkeuksetta tehtävä kivenkiertoja. Yli 20 tonnin Kobelcolla ei uskallettu kaivattaa upottavia soita kesäaikana. Ergonomian osalta puutteita oli eniten koneiden ilmastoinnissa. Työn toteutuksen ja valvonnan osalta kuljettajat toivoivat selvempiä, mieluiten värikopioituja työmaakarttoja. Kuljettajien mielestä maanomistajat antoivat työstä työnjohtoa enemmän palautetta. Poikkeuksetta kuljettajat eivät pitäneet uudesta tarjouskilpailumenettelystä töiden hinnoittelussa ja niiden jakamisessa.

TARKASTELU

Aikatutkimuksessa sovellettiin yleisesti käytettyä paaluvälimenetelmää (Numminen 1964, Aitolahti & Numminen 1969, Vuollekoski 1983,

Ari 1985, Salo 1987, 1988, Härmälä & Ari 1990). Aineisto koostui sarkaojista tai niihin mitoiltaan rinnastettavista muista ojista. Perkausaineisto painottui helpoimpiin kaivuvaikeusluokkiin, kuten aikaisemmissakin tutkimuksissa (Vuollekoski 1983, Ari 1985, Salo 1987, 1988). Aineisto jakautui epätasaisesti koneyyppien, kaivuvaikeusluokkien ja työmuotojen kesken, koska aineiston keruu yritettiin tehdä koneyrittäjien ja metsälautakuntien työtä vaikeuttamatta.

Kaivutuilla varustettujen kaivureiden tuottavuudet tehotuntia kohti olivat likimain samaa suuruusluokkaa kuin Arin (1985) maksuperustetutkimuksessa (täydennysojitus 82–145 m/h ja perkaus 69–174 m/h). Kaivutueton PATU M 100 oli selvästi muita kaivureita tehokkaampi. Tässä tutkimuksessa kaivinkoneiden tuottavuudet olivat alhaisempia kuin Salon (1987, 1988) tutkimuksissa (täydennysojitus 130–312 m/h ja perkaus 237–482 m/h). Talvioloissa tuottavuudet jäivät esitettyjä pienemmiksi (Härmälä & Ari 1990). Yli 20 tonnin Kobelco ei poikennut tuottavuuden suhteen muista kaivinkoneista. Näin ojituskalustollekin on tietty optimiko-

koluokka olemassa samoin kuin metsätien rakentamisessa käytettävällä kalustolla (Ali-Raatikainen 1990).

Kuljettaja näytti vaikuttavan työn tuottavuuteen. Osa eroista johtui paitsi kuljettajien ominaisuuksista, myös tutkimusryhmän läsnäolosta (Aitolahti & Numminen 1969). Konekaivumaksujen aikakaudella kuljettajat saattoivat työskennellä tutkimuksissa tavanomaista hitaammin, jottei työn hinta olisi laskenut (Lauhanen 1992). Kuljettajan merkitys vaikeuttaa aina koneyksiköiden ja konetyyppien välisiä tuottavuusvertailuja.

Yksittäisistä tekijöistä tuottavuuteen vaikuttivat kivisyys ja ojan syvyys (Aitolahti & Numminen 1969, Vuollekoski 1983, Salo 1987, 1988). Myös ojalinjan työtekeminen minimileveys ja hehtaarikohtainen runkoluku selittivät tuottavuutta. Regressiomallien selityksasteiden ollessa 33–48% yksittäisten tekijöiden vaikutukset tuottavuuteen jäivät vähäisiksi (Lauhanen & Takalo 1993). Kaivuvaikeusluokka olisi ollut hyvä selittäjä, mutta sitä ei sen kvalitatiivisen luonteen takia malleissa käytetty. Kaivuvaikeusluokkaa voidaan kuitenkin edelleen pitää hyvänä yksittäisiä työvaikeustekijöitä integroivana muuttujana, jonka määrittäminen on nopeaa, mutta subjektiivista.

Koneiden toiminnalliset käyttöasteet olivat samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Ari 1985, Salo 1987, 1988). Kustannuslaskelmissa käyttöasteet ovat olleet 80-

85% (Vuollekoski 1983, Lauhanen & Takalo 1993).

Hyvä työnjälki, varsinkin ojaluisen laatu, on olennainen osa ojituksen onnistumista. Luisen laatu sijoittui yleisimmin luokkaan 2, kuten aiemminkin (Finncombi... 1984, Salo 1987, 1988). Ojamatat ja ojamaiden keskimääräinen etäisyys ojan reunasta vastasivat entisten konekaivumaksuvihkojen vaatimuksia (Konekaivumaksut... 1991). Tosin kaivinkoneilla tehtiin turhaa työtä siirrettäessä ojamaita vaatimuksiin nähden tarpeettoman kauas.

Työkustannukset ja hallintokustannukset oletettiin kaikilla koneilla vakioiksi (Lauhanen 1992, Lauhanen & Takalo 1993). Koneiden väliset kustannuserot selittyivät hankintahinnalla eli käytännössä pääomakustannuksilla. Jos tuottavuus on 100 m/h, on 400 000 markan koneen saatava työstä vähintään 2,68 mk/m ja miljoonan markan koneen 3,88 mk/m. Tuottavuuden ollessa 200 m/h rajahinnat vastaavasti puolittuvat (1,34 mk/m ja 1,94 mk/m). Lavettisiirtojen merkitys korostuu kaivinkoneilla, varsinkin jos maantiesiirtoja on paljon (Salo 1987, 1988). Tässä tutkimuksessa kaivinkoneiden suurempi tuottavuus riitti kattamaan lavettikuljetuksen kustannukset. Neljän työkuukauden seisokki alensi muuttuvia kustannuksia, mutta vähenevien käyttötuntien vaikutus kustannusten jakajana korostui ja yksikkökustannukset kasvoivat 27–39% (Lauhanen & Takalo 1993). Niin tässä kuin muissakin tutkimuksissa esitetyt kustannus-

Taulukko 5. Ojan laatuluokkien (1–3) jakauma (%) konetyypeittäin ja työmuodoittain.

Table 5. Distribution (%) of work quality (1–3) by machine type and work type.

	Täydennysojitus <i>Ditch digging (additional ditching)</i>						Ojanperkaus <i>Ditch cleaning</i>					
	Ojaluiska <i>Ditch scarp</i>			Ojan pohja <i>Ditch bottom</i>			Ojaluiska <i>Ditch scarp</i>			Ojanpohja <i>Ditch bottom</i>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Kaivurit <i>Backhoes</i>	25	52	23	13	56	31	19	44	37	6	58	36
Kaivinkoneet <i>Excavators</i>	12	50	38	16	56	28	22	51	27	18	60	22

laskelmat ovat suuntaa antavia esimerkkejä. Käytännön laskelmat ovat aina yrittäjäkohtaisia.

KIITOKSET

Tutkimus toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla Maa- ja metsätalousministeriön metsänparannusvaroista myöntämien kehittämisrahojen turvin. Seurannassa mukana olleet ammattitaitoiset koneyrittäjät mahdollistivat tutkimuksen toteutuksen, samoin metsälautakuntien toimihenkilöt. Metsätalousteknikko

Sauli Takalo Kannuksesta opasti kenttäryhmää esitutkimuksen aikana. Metsätalousteknikot Taisto Jaakola ja Tero Takalo sekä mmyo. Ulla Huusko vastasivat aineiston keruusta. Fil. yo. Marko Kivelä avusti regressiomallien laadinnassa. Prof. Pentti Hakkila, MMT Ari Ferm, MML Jyrki Hytönen sekä toimituksen valitsemat ennakkotarkastajat tekivät varteen otettuja parannusehdotuksia käsikirjoitukseen. MMK Martti Vuollekoski ja MH Samuli Joensuu antoivat myös arvokkaita kommentteja. MH Erkki Pekkinen tarkasti englanninkielisen tekstin. Kaikille edellä mainituille parhaimmat kiitokset.

KIRJALLISUUS

- Ahti, E. 1991: Kunnostusojituksen puuntuotanto- ja ympäristövaikutukset. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 374:12-14.
- Ahti, E., Päivänen, J. & Vuollekoski, M. 1988: Kunnostusojitus. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308:46-55.
- 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.) — Commun. Inst. For. Fenniae 67(2): 1-48.
- Ali-Raatikainen, H. 1990: Metsätien rungon rakentamisen tuottavuusmalli. — Keskusmetsälautakunta Tapio. Moniste. 27 s.
- Ari, T. 1985: Metsäojitustöiden maksuperustetutkimus 1984. — Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Hirvas. Koeselostus 224. 14 s.
- BMDP PC 90 User's Guide. — BMDP Statistical Software, inc. Los Angeles. 102 s.
- Finncombi F20 -yhdistelmätraktorin ja Vammass Major -traktorikaivurin työnjälki- ja puustovauriotutkimus 1984. — Metsähallituksen kehittämisjaosto. Hirvas. Koeselostus 207. 20 s. + 6 liitettä.
- Heikka, T. 1985: Meri Trackmo -telatraktori suopuuston harvennuksessa. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 207:1-38.
- Huikari, O. 1958: Metsäojituksen koneellistamisesta. (Referat: Über die Mechanisierung der Waldentwässerung.) — Commun. Inst. For. Fenniae 49(7): 1-93.
- Härmälä, I. & Ari, T. 1990: Kaivukoneiden ajankäyttö, tuottavuus ja työnjälki metsäojituksessa talvioloissa. — Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Seloste 10. 16 s.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. 1990: Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorisissa kuusikoissa. (Abstract: Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in Southern Finland.) — Folia For. 756:1-36.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986: Vuosina 1930-78 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. (Abstract: Peatlands drained for forestry in 1930-1978: results from field surveys on drained areas.) — Acta For. Fennica 193:1-94.
- Konekaivumaksut 1991: 1.4.1991-31.3.1992. — Metsälautakuntien antajat ja Koneyrittäjien liitto ry. 9 s.
- Lauhanen, R. 1992: PATU M 100 -kaivuri metsäojituksessa. (Abstract: PATU M 100 excavator in forest drainage.) — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 401:1-23.
- Lauhanen, R. & Takalo, T. 1993: Yksitelainen LA-MA 10 -kaivuri metsäojituksen periaatteissa. (Abstract: LA-MA 10 single track backhoe in forest ditch cleaning.) — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 458:1-20.
- Niskanen, M. 1977: Edistystä metsäojien perkaustekniikassa. (New techniques in the cleaning of ditches in forest drainage areas.) — Suo 28(4-5): 75-78.
- Niskanen, M. 1980a: Metsäojien perkausten koneellistaminen. — Silva Fennica 14(2): 198-200.
- Niskanen, M. 1980b: Metsäojitus. Metsänparannustekniikka- ja koneet. (Forest improvement techniques and machinery.):17-49. — Karisto. Hämeenlinna.
- Niskanen, M. 1980c: Metsäojien perkausten koneellistaminen. — Suo 31(2-3): 41-44.
- Numminen, E. 1964: Metsäojakaivureiden työtehotutkimus. (Abstract: An investigation on the efficiency of forest trenching machines.) — Suo 15(2): 25-36.
- Päivänen, J. 1963: Traktorikaivurit metsäojituksessa. (Summary: Digging-tractors in forest drainage.) — Suo 14(3): 41-43.
- Päivänen, J. 1990: Suometsät ja niiden hoito. — Kirjayhtymä. Helsinki. 231 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989: Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. — Yliopistopaino. Helsinki. 569 s.
- Salo, H. 1987: Kaivukoneiden ajankäyttö, tuottavuus ja työnjälki metsäojituksessa. — Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Hirvas. Koeselostus 239:1-26.
- Salo, H. 1988: Kaivukoneiden ajankäyttö ja tuottavuus metsäojituksessa. (Summary: Time consumption and productivity of excavators in forest drainage.) — Suo 39(3): 51-59.
- Takalo, S. & Väyrynen, S. 1982: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa. (Abstract: Terri light crawler in timber transport.) — Folia For. 538:1-21.
- Takalo, S. & Myllymäki, T. 1984: Honda-puutarhatraktori kuormajuonossa. — Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 161:1-34.
- Vuollekoski, M. 1983: Hydrostaattisella voimansiirrolla varustetun kaivurin soveltuvuus ojenperkaukseen. (Summary: Evaluation of a specially developed excavator for forest ditch cleaning.) — Folia For. 578:1-13.

SUMMARY:

THE PRODUCTIVITY, WORK QUALITY AND THE COSTS OF EMPLOYING BACKHOES AND EXCAVATORS IN DITCH NETWORK MAINTENANCE

The aim of the study was to determine the productivity, the work quality and the operating costs of different machine types in ditch network maintenance. Four backhoes and four excavators were studied in different excavation difficulty classes (1–5) during the unfrozen period (Table 1). A total of 1221 sample units, each of them 20 m long, were measured in western Finland (Table 3). The method used was the same as in previous work studies (Numminen 1964, Aitolahti & Numminen 1969, Vuollekoski 1983, Ari 1985, Salo 1987, 1988, Lauhanen 1992, Lauhanen & Takalo 1993).

The productivity (per effective hour) of backhoes in ditch digging (additional ditching) was 54–172 m/h and 68–202 m/h in ditch cleaning (Fig. 1). The productivity of excavators was 114–289 m/h and 88–250 m/h, respectively. Thus, in both work types the productivity of excavators was about 33% (47 m/h) higher than that of backhoes. The productivity values for backhoes with hydraulic stabilizers were about the same as those given earlier by Ari (1985), but the productivity of excavators was lower than that reported by Salo (1987, 1988).

Productivity decreased by on entering more demanding excavation difficulty classes (Fig. 1). Productivity seemed to be affected by the machine operator, too. According to regression

analysis (determination coefficients of the models being 33–48%), productivity was affected by the width of the open ditch line, stoniness, and ditch depth (Table 4).

The quality of work (1–3 classification) was acceptable, most of it being in the medium class 2 (Table 5). The dimensions of the ditches and the distance between the edge of the ditch and the mounds of excavated soil met the requirements of the national standards. The excavators, however, moved the excavated soil unnecessarily far from the ditch, thus reducing productivity.

Devaluations of the Finnish mark, high interest rates and insecurity in the employment increased the risks in machine market at the beginning of the 1990s. Labour costs and administration costs were assumed to be constant in the alternative calculations. The operating costs were 268–388 FIM per hour if the price of the machine was 400 000–1000 000 FIM. If a machine was employed for only 6 months instead of 10 months, the unit costs per hour increased by 27–39%. The costs of transporting excavators from site to site were 25 FIM/hour higher than those for backhoes. These costs were, however, compensated by the higher productivity of excavators.

Received 14.XII.1993

Approved 14.I.1994