

Risto Lauhanen

KAIVUKALUSTON AIHEUTTAMAT PUUSTOVAURIOT KUNNOSTUSOJITUKSESSA

Tree damage caused by excavating machines in ditch network maintenance

Lauhanen, R. 1994. Kaivukaluston aiheuttamat puustovauriot kunnostusojituksessa. (Tree damage caused by excavating machines in ditch network maintenance). — Suo 45:33–46 Helsinki. ISSN 0039-5471.

An inventory of tree damage caused by five excavators, four backhoes and one small-size single-track backhoe was carried out in western Finland during the frost free season. The proportion of damaged trees was 1.1–2.4 % in tree stands ditched using backhoes and excavators, if the ditch lines had been opened in advance. The corresponding proportion caused by the single-track backhoe was 0.9%, if the ditch lines had not been opened in advance. The damage to tree stands was affected by the machine type, the work type and the width of the opened ditch line. Excavators caused more stem damage in the ditch cleaning than backhoes did ($p < 0.02$). The mean distances of the damaged trees from the center line of the ditch were 226–264 cm on the work sites ditched using backhoes and excavators. The mean DBH of the damaged trees was 8–10 cm depending on work and machine type. The optimum width of the ditch line for the different machine types was assumed to be 400–500 cm when considering the growth losses of tree stand, the tree damage and the work productivity.

Keywords: backhoe, ditch cleaning, ditch digging, environmental protection, excavator, forest drainage, work studies

R. Lauhanen, The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, FIN-69101 Kannus, Finland

JOHDANTO

Metsäojituksessa on siirrytty uudisojitukselta vanhojen ojaverkoston kunnostukseen. Kunnostusojituksilla ja niitä edeltävillä harvennushakkuilla ylläpidetään suometsien kasvua ja terveyttä (Ahti ym. 1988, Ahti 1991). Kunnostusojituksen suoritettavuus on yli 100 000 hehtaaria vuodessa töiden pääpainon ollessa

ojien perkauksessa (Keltikangas ym. 1986, Lauhanen 1992b).

Suometsien ojituksilla ja lannoituksilla on lisätty vuotuisia hakkuumahdollisuuksia 7,0–8,5 miljoonaa kuutiometriä (Paavilainen ja Tiuhonen 1988). Huonosti kantava maasto, ojastot, alhaiset hakkuukertymät ja runkojen pieni koko haittaavat kuitenkin puunkorjuuta ja heikentävät sen kannattavuutta suometsissä (Multamäki

Maatalouden tutkimuskeskus

KTL/FinRes
3100

Puh. 910-1001

Fax 910-188 437

1967, Saarilahti 1981, Eeronheimo 1985, 1991, 1993). Aukaisemattomat ojalinjat viivästyttävät nykyisin kaivutöiden toteutusta, koska pieniläpimittaiselle puulle on vaikea löytää markkinoita.

Myös metsänparannusrahoituksen supistuminen näyttää hidastavan kunnostusojitusten toteutusta. Työn tuottavuuteen ja kustannuksiin kiinnitetään lisääntyvää huomiota, mutta työn laatu ja puustovauriot pyrkivät jäämään taka-alalle. Useimmat metsänomistajat haluavat kuitenkin suojella parhaat ojanvarsi- ja korjuu- ja kaivukaluston aiheuttamilta vaurioilta, ja toisaalta he haluavat samaan aikaan pitää ojalinjat niin näkymättömissä kuin mahdollista. Ojalinjan leveys tuntuu olevan ikuinen kiistakysymys.

Puunkorjuukaluston ja -menetelmien aiheuttamia puustovaurioita on tutkittu runsaasti (esim. Hakkila ja Laiho 1967, Kärkkäinen 1969, Sirén 1981, 1986, 1994, Rantonen ja Päivänen 1989, Mäkelä 1990). Sitä vastoin kaivukaluston aiheuttamista puustovaurioista on tehty vain yksi selvitys Metsähallituksen kehittämisjaostossa (Finncombi... 1984), jonka jälkeen uusia ojakonetyppejä ja -merkkejä on tullut markkinoille. Perinteiset 8–11 tonnin traktorikaivurit ovat korvautumassa 14–20 tonnin kaivinkoneilla. Kaivinkoneiden aiheuttamien puustovaurioiden määrä on kuitenkin herättänyt keskustelua (mm. Salo 1987, 1988).

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kunnostusojituksessa käytettävän kaivukaluston aiheuttamia puustovaurioita. Vaurioiden kuvailun ohella tutkitaan konetyypin, työmuodon, kuljettajan, puustotunnusten sekä ojalinjan leveyden vaikutusta vaurioiden määrään. Lisäksi

arvioidaan vaurioiden merkitystä sekä tarkastellaan ojalinjaleveyden optimointiongelmia kasvutappioiden, työn tuottavuuden ja runkovaurioiden määrän kannalta.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Seurannassa oli mukana viisi kaivinkonetta ja neljä traktorikaivuria. Lisäksi arvioitiin yksitelaista ojan pohjassa kulkevaa pienkaivuria (Kuva 1, Taul. 1). PATU M 100-kaivuria koskeva esitutkimus tehtiin loppukesällä 1991 (Lauhanen 1992a). Muu aineisto kerättiin vuosina 1992–1993 sulan maan aikana Keski-Pohjanmaan, Pohjois-Pohjanmaan, Satakunnan sekä Lounais-Suomen metsälautakuntien alueilla (Taul. 2, Lauhanen 1993, Lauhanen ja Takalo 1993). Mukaan valittiin ammattitaitoisia koneyrittäjiä. Muutamilla koneyksiköillä vuorotteli kaksi kuljettajaa. Näin voitiin selvittää myös kuljettajan vaikutusta puustovaurioiden syntymiseen.

Työmaat olivat yksityismetsien kunnostusojituskohteita, joilla ojalinjat oli aukaistu suositusten mukaan vähintään viiden metrin levyisiksi (Taul. 2). Täsmällisempi ojalinjan työtekeminen minimileveys oli 20 metriä pitkän paaluvälin reunapuiden (tai kuvittelun portin) rajoittama kapein kohta (sisäleveys) (Rantonen ja Päivänen 1989, Isomäki ja Niemistö 1990). Kesällä 1993 kerättiin lisäksi täydennysaineistoa aukaisemattomilla ojalinjoilla yhden kaivurin (75 paaluväliä) ja yhden kaivinkoneen (50 paaluväliä) osalta. Yksitelaisen LA-MA 10 -pienkaivurin työmaalla ojalinjoja ei oltu aukaistu. Kyseisen työmaan puuston



Kuva 1. Tutkimuksessa mukana olleet konetyypit. Vasemmalla oikealle kaivuri, kaivinkone, yksitelainen pienkaivuri.

Figure 1. The studied machine types. From left to right, backhoe, excavator, single-track backhoe.

Taulukko 1. Tutkimuksen konekalusto (ks. yksityiskohdat; Lauhanen 1993, Lauhanen ja Takalo 1993).

Table 1. General information of the studied machines (see details; Lauhanen 1993, Lauhanen and Takalo 1993)

Konemerkki <i>Machine board</i>	Vuosimalli <i>Year model</i>	Painoluokka (tonnia) <i>Weight class (ton)</i>	Metsälautakunta <i>District forestry</i>
Kaivurit - Backhoes			
Vammas Major	1990	9,0	Satakunta
PATU M 100	1991	10,5	Keski-Pohjanmaa
Lännen S 10	1988	9,5	Keski-Pohjanmaa
Lännen S 30	1992	10,4	Pohjois-Pohjanmaa
Kaivinkoneet - Excavators			
Hitachi 150 EX (A)	1990	17,0	Keski-Pohjanmaa
Kobelco	1991	20,8	Keski-Pohjanmaa
Hitachi 150 EX (B)	1990	17,0	Pohjois-Pohjanmaa
Åkerman H7 C	1989	15,4	Keski-Pohjanmaa
Hitachi 100 M EX	1991	14,0	Lounais-Suomi
Pienkaivuri -Small backhoe			
LA-MA 10	1992	2,2	Lounais-Suomi

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

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

	Täydennysojitus <i>Ditch digging</i> (additional ditching = complementary d.)		Ojan perkaus <i>Ditch cleaning</i>	
	T	K	T	K
Paaluvälejä, kpl <i>Number of sample units</i>	411	636	318	288
Ojan syvyys, cm <i>Ditch depth, cm</i>	87	87	92	94
Kaivuvaikeusluokka (1-5) <i>Excavation difficulty class (1-5)</i>	2,7	2,5	2,5	2,5
Liekopuita (kpl) paaluvälillä <i>Number of embedded tree trunks per sample unit</i>	0,2	1,2	0,1	1,4
Kivisyys (läpimitta vähintään 50 cm, kpl paaluvälillä) <i>Stoniness (number of stones with diameter ≥ 50 cm per sample unit)</i>	3,2	6,6	2,3	3,9
Turpeen paksuus, cm <i>Peat layer, cm</i>	27	38	28	54
Ojalinjan minimileveys, cm <i>Minimum width of ditch line opening per sample unit, cm</i>	554	501	549	549
Runkoluku, kpl/ha <i>Number of stems per hectare along ditch (per sample unit)</i>	1554	1483	1556	1609

keskimääräinen runkoluku oli 1290 kpl/ha, kaivuvaikeusluokka 2 ja turvekerroksen paksuus 20–40 cm (Lauhanen ja Takalo 1993).

Ojanvarsipuiden vauriot inventoitiin paaluväleittäin silmävaraisesti aikatutkimuksen jälkeen. Myös koneen siirtymisreittien varrella olevista puista arvioitiin vauriot jälkikäteen. Vauriot jaettiin sijainnin perusteella runko-, juuri- ja juurenniskavaurioihin sekä laadun perusteella pinta-, syvä- ja katkovaurioihin (Isomäki ja Kallio 1974, Sirén 1986). Katkovaurioihin luettiin sekä katkenneet että kallistumisen vuoksi elpymiskyvyttömiksi arvioidut, juuriyhteyden omaavat puut. Kustakin vauriopuusta otettiin huomioon vain pahimmaksi arvioitu vaurio.

Pinta- ja syvävaurioiden tapauksessa mitattiin vaurion koko (cm²) ja vaurion keskikohdan etäisyys juurenniskasta. Juurivaurion tapauksessa mitattiin paksuimman katkenneen juuren läpimitta (mm). Vauriopuista mitattiin lisäksi rinnankorkeusläpimitta (vähintään 3,0 cm) sekä etäisyys ojan tai koneen kulku-uran keskilinjasta. Samalla määritettiin puulaji sekä arvioitiin vaurion aiheuttaja (Lauhanen 1992a). Aineiston tilastollisessa käsittelyssä sovellettiin tunnuslukujen laskennan ohella t-testiä, Mann-Whitneyn U-testiä sekä varianssi-, kovarianssi- ja korrelaatioanalyysejä (Ranta ym. 1989). Laskenta tehtiin BMDP-ohjelmistolla (BMDP PC-90...).

TULOKSET

Runko-, juuri- ja juurenniskavaurioita oli ojanvarsilla 20 metrin paaluväliä kohti keskimäärin 1,3–2,9 kappaletta. Näin vauriopuita sattui 6,5–14,5 kappaletta 100 ojametria kohti konetyypistä ja kunnostusojituksen työmuodosta riippuen. Täysin vauriottomia oli 25–48% tutkituista paaluväleistä. Jos ojaa oli 265 metriä hehtaarilla ja hehtaarikohtainen runkoluku 1483–1609 r/ha, vaurioiden osuus oli keskimäärin 1,1–2,4% (Taul. 2 ja 3). Ojan pohjassa kulkevan yksitelaisen LA-MA 10 -kaivurin aiheuttama vaurio-osuus oli vain 0,9% puuston runkoluvusta siitä huolimatta, että ojalinjoja ei oltu avattu perkausta varten.

Runkovaurioita sattui eniten ja juurenniskavaurioita vähiten (Taul. 3). Kun kaikki vauriotyypit otettiin huomioon, havaituista vauriopuista 36–58% oli koivuja. Tyypillinen vauriopuu oli maamassojen kallistama läpimitaltaan 8–10 cm paksu koivu, joka sijaitsi 226–264 cm:n etäisyydellä ojan keskeltä. LA-MA 10 -kaivurin aiheuttamista vauriopuista mäntyjä oli

8%, kuusia 33%, koivuja 50% ja 8% muita lehtipuita.

Runkovaurioita ei sattunut 29–54%:lla paaluväleistä. Vauriottomia paaluvälejä oli eniten, kun ojaa perattiin kaivureilla (54%). Puustovaurio-osuus oli keskimäärin 1,0–2,3%, jos ojaa oli 265 metriä hehtaarilla ja hehtaarikohtainen runkoluku 1503–1670 r/ha (Taul. 4).

Kaivinkoneet näyttivät aiheuttavan kaivureita enemmän runkovaurioita sekä täydennysojituksessa että ojan perkauksessa. Erot olivat t-testin perusteella merkitseviä ($p < 0,02$), kun ojalinjan työtekninen minimileveys oli 300–700 cm. Kun pareittainen kahden populaation t-testi laajennettiin yksisuuntaiseksi varianssianalyysiksi ja edelleen kovarianssianalyysiksi, ei runkoluvun ottaminen kovariaatiksi muuttanut tilannetta. Täydennysojituksessa kaivurit kolhivat runkoja enemmän kuin perkauksessa (Taul. 4).

Kobelco-kaivinkoneen kokemattomampi kuljettaja aiheutti perkauksessa suuntaa antavasti enemmän runkovaurioita kuin kokeneempi kuljettaja. PATU M 100 -kaivurin käytössä ero esiintyi myös, mutta vain täydennysojituksessa ($p < 0,001$). Samoin Åkerman-kaivinkoneen kuljettajilla oli täydennysojituksessa ero kokeneemman kuljettajan aiheuttaessa vähemmän vaurioita ($p < 0,001$). Perkauksessa ero oli suuntaa antava.

Runkovaurioita sattui eniten koivuihin, joiden osuus havaituista runkovauriopuista oli 38–66% konetyypistä ja kunnostusojituksen työmuodosta riippuen. Suurin osa, 46–55% runkovaurioista oli puiden kallistumia. Pintavaurioita sattui vähiten (Taul. 4). Tätä lievintä vauriotyyppiä esiintyi eniten kaivureilla täydennysojitusta tehtäessä. Tyypillisen runkovauriopuun etäisyys ojan keskeltä oli 200–250 cm, mutta niitä esiintyi jopa 500–600 cm:n päässä ojasta (Kuva 2). LA-MA 10 -kaivurin osalta runkovauriopuun etäisyys ojan keskeltä oli keskimäärin 145 cm. Kaikkien konetyyppien aiheuttamista runkovauriopuista 80–90% oli rinnankorkeusläpimitaltaan enintään 10 cm paksuja. Syvä- ja pintavaurioista 70–80% oli alle 100 cm²:n kokoisia.

Kaivurityömaililla ojanperkauksessa runkovaurioita aiheutti eniten koneen kauha (33,3%). Toiseksi eniten vaurioita aiheutti maaines (Kuva 3). Täydennysojituksessa tilanne oli päinvastainen. Kaivureiden tukijalat aiheuttivat noin 8% vaurioista. Kaivinkoneen ylävaunun merkitys runkovaurioiden aiheuttajana korostui varsinkin ojan perkauksessa (29%). Ojalinjoille

Taulukko 3. Vaurioiden keskitunnuksia konetyypeittäin ja työmuodoittain (T = kaivurit, K =kaivinkoneet).

Table 3. General information (means) on the damaged trees by work type and the machine type (T = backhoes, K = excavators).

	Täydennysojitus Ditch digging (additional ditching = complementary d.)		Ojan perkaus Ditch cleaning	
	T	K	T	K
Paaluvälejä, kpl Number of sample units	411	636	318	288
Vauriopuita yhteensä, kpl Total number of damaged trees	818	1559	429	834
Vauriopuita hehtaarilla, kpl/ha Number of damaged trees per hectare	26,4	32,5	17,9	38,4
Vauriopuita runkoluvusta, % Damaged trees , %	1,7	2,2	1,1	2,4
Runkovaurioiden osuus, % Proportion of stem damage, %	78	84	82	88
Juurivaurioiden osuus, % Proportion of root damage, %	21	15	17	11
Juurenniskavaurioiden osuus, % Proportion of root neck damage, %	1	1	1	1
Puun rinnankorkeusläpimitta, cm Tree diameter at breast height , cm	10,1	8,8	8,4	9,4
Vauriopuun etäisyys ojan keskeltä,cm Distance from center line of ditch to damaged tree, cm	264	239	226	239

unohtunut puutavara ja latvukset aiheuttivat 3–8% runkovaurioista. Molemmilla konetyypeillä koneen telasto (20%) oli likimain yhtä suuri vaurioiden aiheuttaja ojan perkauksessa. Enin osa LA-MA 10 -kaivurin tekemistä runkovaurioista oli kauhan ja koneen tukijalkojen aiheuttamia.

Havaitut juurivauriot olivat yli 90 prosenttisesti koneen kauhan aiheuttamia eri konetyypeillä ja työmuodoilla, paitsi poikkeuksena ojan perkauksessa kaivinkoneiden telat aiheuttivat 20% juurivaurioista. Juurivaurioita sattui eniten kuuselle. Katkenneen juuren keskiläpimitta oli 2,9–6,5 cm, ja juurivauriopuun etäisyys 179–225 cm ojan keskeltä. Havaitut 34 juurenniskavauriota olivat kaikki syvävaurioita, joiden keskipinta-ala oli alle 50 cm². Niitä aiheuttivat kaivureiden tukijalat ja kauha, sekä kaivinkoneiden telat.

Työmaan sisäisissä siirroissa vaurioiden kokonaismäärä oli suoraan yhteydessä siirtojen

pituuteen ja puuston runkolukuun. PATU M 100 -kaivurin neljällä työmaalla havaittiin 23 siirtymisten vaurioittamaa puuta. Vammas Major -kaivuri aiheutti kolmella työmaalla 55 vauriota tutkitulla 600 metrin matkalla. Kobelco-kaivukone teki 50 metrin matkalla 25 vauriota. LA-MA 10 -pienkaivuri aiheutti työmaan sisäisissä siirroissa ojanvarsien ulkopuolella vain yhden vaurion, mikä osoittaa koneen kapeuden mahdollistavan siirron ojalta toiselle varsin vähäisin puustovaurioin.

Ojalinjaleveyden kasvaessa runkovaurioiden määrä väheni merkitsevästi (Kuva 4, Taul. 5). Vaurioita sattui leveyden ollessa jopa 800 cm, ja ne lisääntyivät selvästi leveyden jäädessä alle 550 cm:n. Kaivinkoneilla runkovaurioita näytti syntyvän vielä melko runsaasti, kun ojalinjan leveys oli noin 600 cm ojan perkauksessa. Kuitenkin täysin vauriottomia paaluvälejä esiintyi ahtaassakin työtilassa.

Taulukko 4. Runkovaurioiden ja -vaurioiden keskitunnuksia konetyypeittäin ja työmuodoittain (T = kaivurit, K = kaivinkoneet).

Table 4. General information (means) on trees with stem damage by work type and the machine type (T = backhoes, K = excavators).

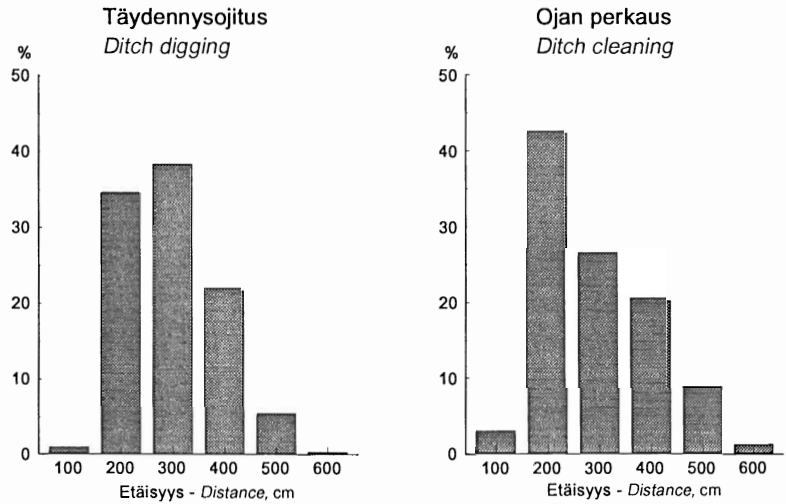
	Täydennysojitus Ditch digging (additional ditching = complementary d.)		Ojan perkaus Ditch cleaning	
	T	K	T	K
Paaluvälit, joilla runkovaurioita, kpl Number of sample units with stem damaged trees	334	549	280	251
Vauriopuita yhteensä Total number of damaged trees	639	1314	350	733
Vauriopuita hehtaarilla, kpl/ha Number of damaged trees per hectare	25,3	31,7	16,6	38,7
Runkoluku, kpl/ha Number of stems per hectare along ditch (per sample unit)	1670	1503	1618	1650
Vauriopuita runkoluvusta, % Damaged trees, %	1,5	2,1	1,0	2,3
Vauriotyyppien osuus (%): Proportion of type of damage (%):				
Kallistumavaurioita, % Leaning trees, %	52,4	46,0	52,0	55,0
Syvävaurioita, % Deep wounds, %	31,4	49,7	39,5	43,3
Pintavaurioita, % Superficial wounds, %	16,2	4,3	8,5	1,7
Puun rinnankorkeusläpimitta, cm Tree diameter at breast height, cm	6,4	7,4	5,6	7,5
Vaurion korkeus juurenniskan ylä- puolella, cm Height of the damage spot above the root neck, cm	84	114	81	110
Vaurion pinta-ala, cm ² Area of the damage spot, cm ²	80	87	74	81
Vauriopuun etäisyys ojan keskeltä, cm Distance from the center line of the ditch to the damaged tree, cm	277	254	234	248

Työn tuottavuus kasvoi korrelaatioanalyysin perusteella merkitsevästi työskentelytilan lisääntyessä. Samalla ojamaiden sijoittelu näytti helpottuvan. Tuottavuuden ja ojamaiden sijainnin välillä ei kuitenkaan havaittu riippuvuutta. Tuottavuus pieneni suhteessa eniten (10% per metri), kun ojalinjaleveys oli 3–5 metriä. Täysin aukaisemattomilla

ojalinjoilla sekä kaivureiden että kaivinkoneiden tuottavuus oli 80% siitä, mitä se oli aukaistuilla ojalinjalla samassa kaivuvaikeusluokassa 2. Runkovaurioiden määrä, työn tuottavuus ja ojalinjasta aiheutuvat kasvutappiot (Keltikangas 1971) huomioon ottaen 450–500 cm:n ojalinjasuositus näytti riittävän kaivureille ja kaivinkoneille.

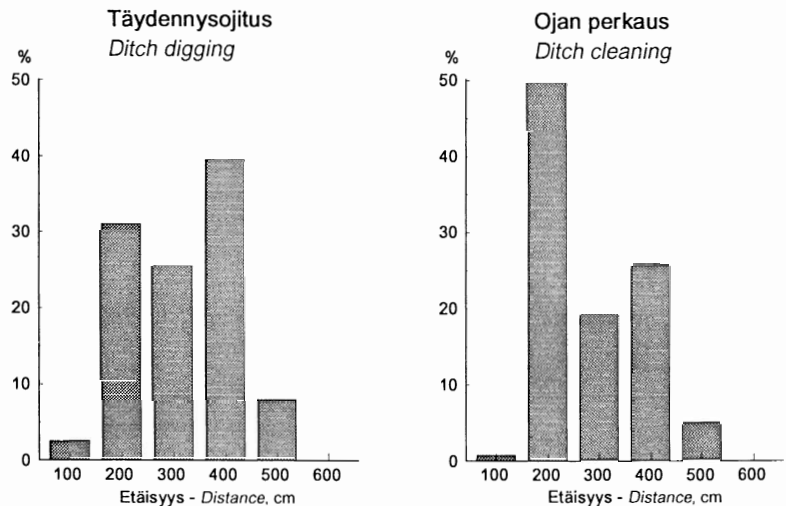
KAIVUKONEET

Excavators



KAIVURIT

Backhoes



Kuva 2. Runkovaurioiden etäisyys (cm) ojan keskeltä.

Figure 2. The distance (cm) of trees with stem damage from the center line of the ditch.

TARKASTELU

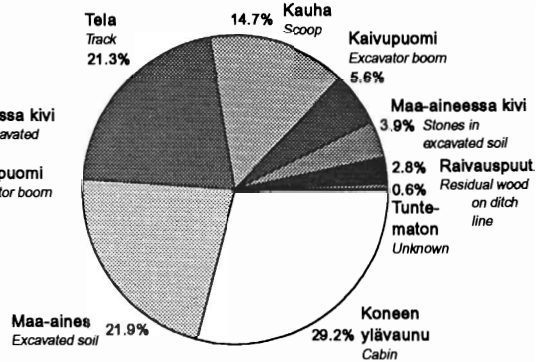
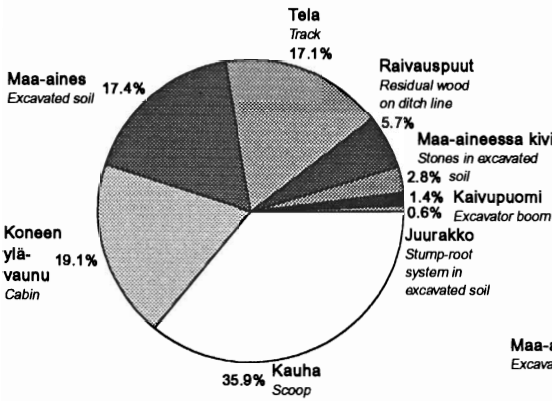
Puustovaurioinventointi tehtiin 20 metrin paaluväleittäin, paitsi yksitelaisen pienkaivurin osalta inventoitiin 10 metrin paaluvälejä. Aineisto painottui normaalikokoisiin sarkaojiin

ja ojan perkauksessa helpimpiin kaivuvaikeusluokkiin kuten alan tutkimuksissa aiemminkin (Ari 1985, Salo 1987, 1988, Härmälä ja Ari 1990, Lauhanen 1992a, Lauhanen ja Takalo 1993).

KAIVINKONEET Excavators

Täydennysojitus Ditch digging

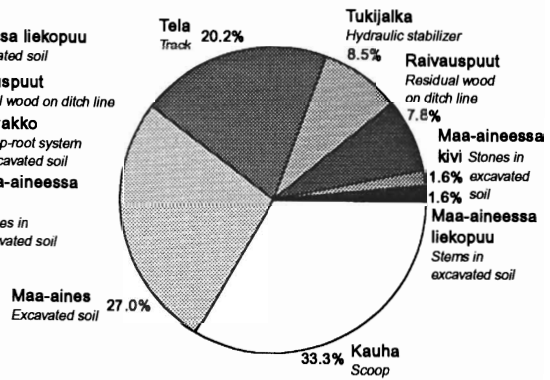
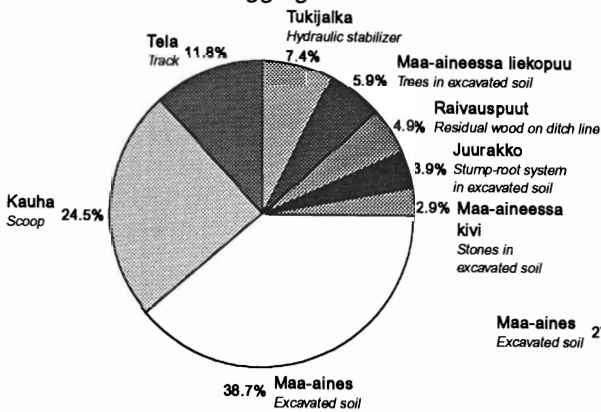
Ojan perkaus Ditch cleaning



KAIVURIT Backhoes

Täydennysojitus Ditch digging

Ojan perkaus Ditch cleaning

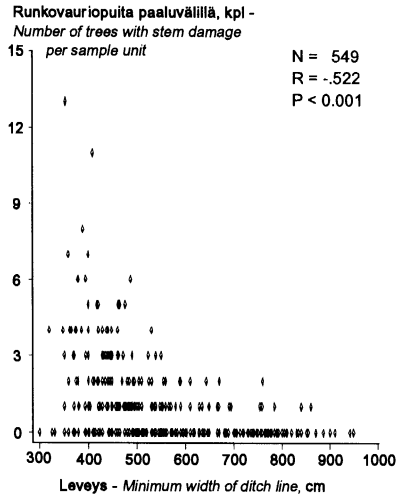


Kuva 3. Runkovaurioiden aiheuttajat konetyypeittäin ja työmuodoittain.

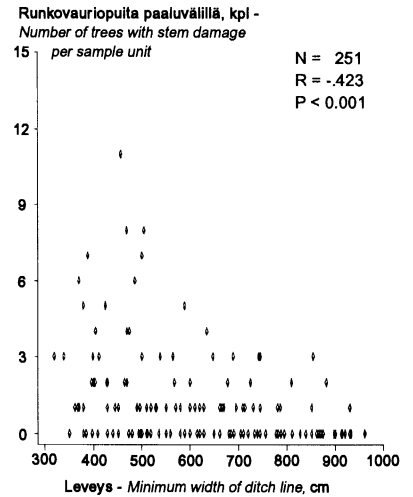
Figure 3. The factors causing stem damage by machine and work type.

KAIVUKONEET Excavators

Täydennysojitus Ditch digging

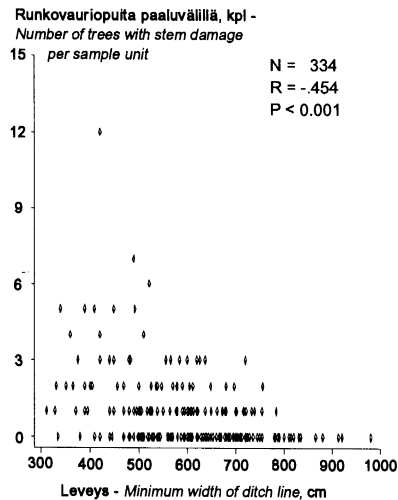


Ojan perkaus Ditch cleaning

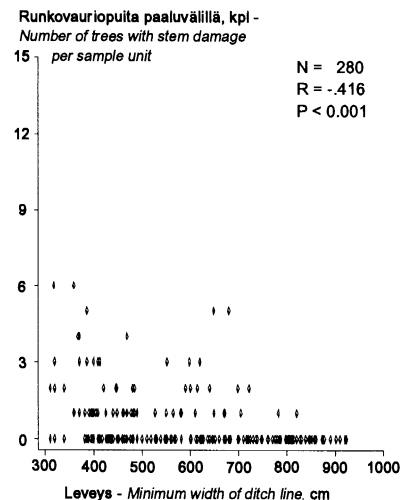


KAIVURIT Backhoes

Täydennysojitus Ditch digging



Ojan perkaus Ditch cleaning



Kuva 4. Runkovauriopiutien määrä paaluvälillä ojalinjan työteknisen minimileveyden funktiona. N = piutien lukumäärä, R = korrelaatiokerroin ja P = kertoimen merkitsevyys.

Figure 4. The number of trees with stem damage per 20 m sample unit as a function of the minimum width of the ditch line opening. N = number of trees with stem damage, R = correlation coefficient, and P = significance of the coefficient.

Hehtaarikohtainen runkolukuun suhteutettu puustovaurio-osuus oli kaivureilla ja kaivukoneilla 1,1–2,4%, kun ojalinjat oli

aukaistu suositusten mukaisesti. LA-MA 10 - pienkaivurin osalta vaurio-osuus jäi alle prosentin, vaikka ojalinjat oli jätetty avaamatta.

Metsähallituksen työmailla Vammass Major -kaivurilla ja Finncombi -yhdistelmätraktorilla tehdyssä perkaus selvityksessä vaurio-osuus oli aukaisemattomilla ojalinjoilla 2,3–2,7% (Finncombi... 1984). Suometssissa harvennuspuun korjuun aiheuttamat vaurio-osuudet ovat olleet 0,9–3,0% (Rantonen ja Päivänen 1989, Mäkelä 1990).

Tässä tutkimuksessa luettiin rinnankorkeusläpimitaltaan kaikki vähintään 3 cm paksut puut. Puiden kasvatuskelpoisuutta ei arvioitu. Metsähallituksen selvityksessä ei ole mainintaa puiden lukuläpimitasta (Finncombi... 1984). Päivänen ja Rantonen (1989) käyttivät 5 cm:n läpimittaa. Sirén (1986, 1993) puolestaan kirjasi ylös metsänhoidollisesti kasvatuskelpoiset vauriopuut. Inventointitulosten saamiseksi vertailukelpoisiksi olisikin tarpeen sopia yleisestä puiden luvussa käytettävästä minimiläpimitasta.

Puuston runkoluku (eri tutkimuksissa minimiläpimita tosin vaihtelee) ja ojatiheys (ajouraväli) vaikuttavat vaurioiden määrään ja vaurio-osuuteen (Sirén 1986, Rantonen ja Päivänen 1989, Lauhanen 1992a). Kaikkia juuri- ja juurenniskavaurioita ei välttämättä kuitenkaan havaittu kaivumaiden alta. Lisäksi vaurioiden aiheuttajien määrittämisessä saattoi ilmetä epätarkkuutta, sillä vauriot inventoitiin jälkikäteen.

Kuljettajan vaikutus runkovaurioiden syntyyn jäi osin epäselväksi. Toisaalta kuljettajat olivat etukäteen tietoisia tulossa olevasta vauriokartoituksesta, mikä saattoi vaikuttaa tuloksiin. Sekundääri vaurioita, kuten suometssille tyypillisiä tuulikaatoja, ei tässä työssä havaittu (vrt. Rantonen ja Päivänen 1989, Sirén 1990). Myöhemmin eli jo 1–2 vuotta kaivun jälkeen tehtävät vaurioinventoinnit voivat antaa toisenlaisia tuloksia.

Vauriopuita esiintyi ojasta kauempana kuin mainitussa Metsähallituksen selvityksessä, muttei kuitenkaan niin kaukana kuin puunkorjuussa ajouran keskeltä mitattuna (Finncombi... 1984, Sirén 1986). Syvä- ja pintavaurioista suurin osa (70–80%) oli kooltaan alle 100 cm² kuten myös puunkorjuun jäljiltä. Vauriot kuitenkin sijaitsivat yleisesti puun rinnankorkeuden alapuolella toisin kuin puunkorjuussa (Sirén 1986).

Paaluvälien puulajisuhteita ei arvioitu. Koivujen runsas vaurioituminen oli luonnollista, koska uudisojituksen jälkeen ojanvarsille kehittyi runsaasti lehtipuustoa (Hökkä ja Laine 1986, Paavilainen ja Tiuhonen 1988, Rantonen ja Päivänen 1989).

Runkovaurioista 80–90% sattui puihin, joiden rinnankorkeusläpimita oli enintään 10 cm. Jos markkinakelpoisen ainespuun minimirin-

Taulukko 5. Runkovaurioiden määrään vaikuttavat tekijät. Korrelaatioanalyysi koneityypeittäin ja työmuodoittain (T=kaivurit, K=kaivinkoneet). *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$, ns. = ei tilastollisesti merkitsevä ($p > 0,10$).

Table 5. The factors affecting the amount of stem damage. Correlation analysis by machine type and work type (T = backhoes, K = excavators). *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$, ns. = no significant ($p > 0,10$).

	Täydennysojitus Ditch digging (additional ditching = complementary d.)		Ojan perkaus Ditch cleaning	
	T	K	T	K
Paaluvälejä, kpl Number of sample units	334	549	280	251
Keskimääräinen ojalinjan mini- mileveys, cm Mean minimum width of the ditch line opening per sample unit	-0.454***	-0.522***	-0.416***	-0.423***
Keskimääräinen runkoluku, t/ha Mean number of stems per hectare along ditch (per sample unit)	0.077ns	0.462***	-0.027ns	0.199**

nankorkeusläpimittana on 11 cm, niin suurin osa vaurioista ilmeni sinänsä merkityksettömissä puissa (Harvennushakkuiden... 1992, Mielikäinen 1992). Kallistuneista puista ei kuitenkaan tulevaisuudessa saada lenkouden ja mutkaisuuden takia kunnon tyvitukkia. Ne ovat myöhemmin erityisen alttiita myös lumi- ja myrskytuhoille.

Lahoviat pilaavat myös melko todennäköisesti kaivutyössä kolhiutuneet rungot. Kuusi ja koivu lahoavat mäntyä herkemmin. Hakkilan ja Laihon (1967) mukaan kuusen rinnankorkeudelle osuneesta kirvesleimasta laho etenee puussa 13 vuodessa jopa 6 metrin korkeudelle. Lahon etenemisnopeus kuudessa on 10–30 cm vuodessa olosuhteista riippuen (Isomäki ja Kallio 1974, Kallio ja Tamminen 1974). Jos seuraava hakkuu on 15–20 vuoden päästä kunnostusojituksesta, on vauriopuun tyvestä tehty puutavara melkoisella varmuudella lahovikaista. Pahimmat puustovauriot voidaankin aiheuttaa ojanperkauksessa suuripuustoisissa turvekangaskuusikoissa 15–20 vuotta ennen pätehhakkuuta. Tällöin suhteelliset kantorahatulot voivat laskea jopa yli 10% (Kallio ja Tamminen 1974).

Ojavarren puustovaurioiden ajatellaan helposti riippuvan toisaalta ojalinjan, toisaalta työkonene leveydestä. Ojalinjan kapeneminen paljasti kuitenkin koneen aiheuttamien vaurioiden kytkeytyvän kauhan liikkeisiin ja ojamaiden tarkoituksenmukaiseen sijoitteluun eli käytännössä työn tuottavuuteen ja kuljettajan ammattitaitoon. Pienessä tilassa kuljettaja joutui varomaan puita kolhimisriskin kasvaessa ja samalla tuottavuus aleni (myös Lauhanen 1993). Vaurioiden määrä kasvoi selvästi, kun työtekniinen minimileveys alitti LA-MA 10 -kaivurilla 350 cm ja tavanomaisella kaivukalustolla 500–600 cm.

Työn jouduttamiseksi ojalinjoihin aukaisu olisi aina suositeltavaa. Liian leveiksi hakatut oja-aukot aiheuttavat kuitenkin kasvutappioita (Keltikangas 1971). Lisäksi ne soivat ympäristöä säästävän metsätalouden ja metsien monikäytön periaatteita vastaan. Toisaalta hakkuukertymä kasvaa ja korjuun yksikkökustannukset pienenevät, jos ojalinjat hakataan tavanomaista leveämmiksi (Rantonen ja Päivänen 1989). Tällöin harvennuskertoja ja vaurioita voitaisiin vähentää kiertoajan kuluessa. Metsähallituksen selvityksessä suositeltiin vaurioiden sijainnin ja määrän perusteella 4,0 metrin ojalinjaleveyttä (Finncombi... 1984). Tässä tutkimuksessa runkovauriot, ojalinjan aiheuttamat kasvutappiot ja työn tuottavuus huomioon ottaen tutkitulle

pienkaivurille riittäisi työtilaksi 4,0 metriä ja muille koneille 4,5–5,0 metriä.

Pienkaluston on havaittu aiheuttavan korjuutyössä vähemmän vaurioita kuin tavanomaisten koneiden (Takalo ja Väyrynen 1982, Takalo ja Myllymäki 1984). Tässäkin tutkimuksessa pienkaivuri aiheutti vähiten vaurioita. Kaivinkoneet näyttivät aiheuttavan kaivureita enemmän vaurioita varsinkin ojan perkauksessa, eli kunnostusojituksen päätyömuodossa. Teknisillä ratkaisuilla voidaan vaurioita vähentää. PATU M 100 -kaivurista puuttuivat tukijalat kokonaan, kun muiden kaivureiden tukijalat aiheuttivat 8% runkovaurioista. Kaivinkoneen ylävaunu voitaisiin mitoittaa lyhyemmäksi, ja näkyvyyttä ylävaunusta ulospäin samalla parantaa. Lisäksi vaurioita voidaan vähentää työmaiden huolellisella organisoinnilla sekä oikea-aikaisella puunkorjuulla, kuljettajien koulutuksella, tavoitteiden asettamisella ja asenteiden muokkaamisella. Hyvästä työnjäljestä voitaisiin myös maksaa tavanomaista enemmän.

Metsäojat kaivetaan pääosin kesällä, mikä takaa työn joutuisuuden ja hyväksyttävän laadun (Härmälä ja Ari 1990). Alan perinteisen täystyöllisyyden ollessa 10 kuukautta seisokit ajoittuvat talvikauteen (Vuollekoski 1983, Lauhanen 1992a). Siksi töiden ajoituksella puustovaurioita ei voida vähentää toisin kuin puunkorjuussa (Isomäki ja Kallio 1974, Sirén 1986).

Kokonaiskuvan saamiseksi on tarpeen tehdä erillinen inventointi vuosi tai pari sitten kaivettujen ojastojen vaikutuspiirissä puusto- ja maaperävaurioista, työn laadusta, ojalinjaleveyksistä sekä metsänhoidollisesta tilasta ja hakkuiden tarpeesta. Yksityiskohtaisia mallilaskelmia korjuuvaurioiden taloudellisesta merkityksestä laaditaan parhaillaan (Sirén 1994). Samoja malleja soveltamalla on jatkossa mahdollista arvioida myös kaivukaluston aiheuttamien puustovaurioiden merkitystä kunnostusojituksen kannattavuuteen.

KIITOKSET

Esityksen tutkimuksesta Metsäntutkimuslaitokselle teki Österbottens Skogsnämndin apulaisjohtaja Per Wecksten. Metsätalousteknikko Sauli Takalo Kannuksesta opasti maastoryhmää metsätalousteknikoiden Taisto Jaakolan ja Tero Takalon vastatessa pääosin aineiston keruusta. Prof. Pentti Hakkila, MH Matti Sirén, MH Juha Nurmi, MMT

Ari Ferm ja MML Jyrki Hytönen sekä toimituksen valitsema ennakkotarkastajat tekivät käsikirjoituksen tehden siihen huomioon otettuja korjausehdotuksia. Lisäksi MMK Martti Vuollekoski ja MH Samuli Joensuu toivat esiin varteen otettuja näkökohtia tutkimuksen yhteydessä.

Ohjelmoija Keijo Polet valmisti kuvat sekä tähän että tekijän edelliseen Suo-lehden artikkeliin. MH Erkki Pekkinen tarkasti englanninkieliset tekstit. Edellä mainituille sekä mukana olleille ammattitaitoisille koneyrityksille ja metsälautakuntien toimihenkilöille 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.
- Ari, T. 1985: Metsäojitustöiden maksuperustetutkimus 1984. — *Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Hirvas. Koeselostus* 224. 14 s.
- BMDP PC-90 User's Guide. 1990: — *BMDP Statistical Software, Inc. Los Angeles.* 102 s.
- Eeronheimo, O. 1985: Suometsien hakkuumahdollisuudet. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 188. 22 s.
- Eeronheimo, O. 1991: Suometsien puunkorjuu. (Summary: Forest harvesting on peatlands.) — *Folia Forestalia* 779. 29 s.
- Eeronheimo, O. 1993: Suometsien puunkorjuu. (Sammandrag: Virkesdrivning på torvmark.) — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 457:22–27.
- Finncombi F20 -yhdistelmätraktorin ja Vamma Major -traktorikaivurin työnjälki- ja puustovauriotutkimus. 1984.— *Metsähallituksen kehittämisjaosto. Hirvas. Koeselostus* 207. 20 s. + 6 liitettä.
- Hakkila, P. & Laiho, O. 1967: Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. (Summary: On the decay caused by axe marks in Norway spruce.) — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 64(3). 34 s.
- Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot. 1992. — *Maa- ja metsätalousministeriö.* 121 s.
- Härmälä, I. & Ari, T. 1990: Kaivukoneiden ajankäyttö, tuottavuus ja työnjälki metsäojituksessa talviolissa. — *Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Seloste* 10. 16 s.
- Hökkä, H. & Laine, J. 1988: Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. (Summary: Post-drainage development of structural characteristics in peatland forest stands.) — *Silva Fennica* 22(1): 45–65.
- Isomäki, A. & Kallio, T. 1974: Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) (Seloste: Puunkorjuukoneiden aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun.) — *Acta Forestalia Fennica* 136. 25 s.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. 1990: Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. (Abstract: Effect of strip roads on the growth and yield of young spruce stands in Southern Finland.) — *Folia Forestalia* 756. 36 s.
- Kallio, T. & Tamminen, P. 1974: Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Åland Islands. (Seloste: Ahvenanmaan kuusen lahovikaisuus.) — *Acta Forestalia Fennica* 138. 42 s.
- Keltikangas, M. 1971: Sarkaleveyden vaikutus ojaainvestoinnin taloudelliseen tulokseen. (Summary: Effects of drain spacing on the economic results of forest drainage investments.) — *Acta Forestalia Fennica* 123. 70 s.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986: Vuosina 1930–78 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. (Summary: Peatlands drained for forestry in 1930–1978: Results from field surveys on drained areas.) — *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.
- Kärkkäinen, M. 1969: Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa. (Abstract: The amount of injuries caused by timber transportation in the summer.) — *Acta Forestalia Fennica* 100. 35 s.
- Lauhanen, R. 1992a: PATU M 100 -kaivuri metsäojituksessa. (Abstract: PATU M 100 excavator in forest drainage.) — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 401. 23 s.
- Lauhanen, R. 1992b: Kunnostusojituksen ongelmat ja tutkimustarpeet. (Abstract: Ditch network maintenance, its problems and research needs.) — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 409. 45 s.
- Lauhanen, R. 1993: Kaivukaluston tuottavuus, työnjälki ja kustannukset kunnostusojituksessa. (Abstract: The productivity, work quality and the costs of employing backhoes and excavators in ditch network maintenance.) — *Suo* 44(4–5): 77–86.
- Lauhanen, R. & Takalo, T. 1993: Yksitelainen LA-MA 10 -kaivuri metsäojan perkauksessa. (Abstract: LA-MA 10 single track backhoe in forest ditch cleaning.) — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 458. 20 s.
- Mielikäinen, K. 1992: Kannattaako taimikkoa harventaa? — *Käytännön Maamies* 3:62–64.
- Multamäki, M. 1967: Hakkuukertymän jakautumisesta puutavaralajeihin metsäojitetuilla soilla Etelä-Suomessa. (Summary: On the distribution of the cutting quantity into timber product groups in southern Finland.) — *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 64(2). 46 s.
- Mäkelä, M. 1990: Turvemaiden koneellinen puunkorjuu kesäaikaisissa ensiharvennuksissa. (Mechanized first thinning on unfrozen peatland.) — *Metsätehon katsaus. Metsäteho review.* 4. 4 s.
- Paavilainen, E. & Tiuhonen, P. 1988: Suomen suometsät vuosina 1951–1984. (Peatland forests in Finland in 1951–1984.) — *Folia Forestalia* 714. 29 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989: Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. — *Yliopistopaino. Helsinki.* 569 s.
- Rantonen, H. & Päivänen, J. 1989: Kasvatusmetsien metsänhoidollinen tila ojitusalueilla puunkorjuun

- jälkeen. (Summary: Silvicultural condition of tree stands after thinning on drained peatlands.) — *Silva Fennica* 23(1): 33–50.
- Saarilahti, M. 1981: Koneiden oppoaminen suometsien korjuussa. (Summary: Sinkage of forest machines during harvesting operations on peatlands.) — *Silva Fennica* 15(3): 323–331.
- Salo, H. 1987: Kaivukoneiden ajankäyttö, tuottavuus ja työnjälki metsäojituksessa. — *Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Hirvas. Koeselostus* 239. 26 s.
- Salo, H. 1988: Kaivukoneiden ajankäyttö ja tuottavuus metsäojituksessa. (Summary: Time consumption and productivity of excavators in forest drainage.) — *Suo* 39(3): 51–59.
- Sirén, M. 1981: Puuston vaurioituminen harvennuspuiden korjuussa. (Summary: Stand damage in thinning operations.) — *Folia Forestalia* 474. 23 s.
- Sirén, M. 1986: Puuston vaurioituminen karsimattomien puiden ja puunosien korjuussa. (Stand damage in logging of undelimited trees and tree parts.) — *Folia Forestalia* 645. 17 s.
- Sirén, M. 1990: Cost of mechanized thinning to the stand — how to evaluate. Teoksessa: Sirén, M. (toim.). Machine design and working methods in thinnings. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 355: 23–40.
- Sirén, M. 1994: Keinot pitää kasvatusmetsät terveinä puunkorjuun yhteydessä. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 491:75–81.
- Takalo, S. & Väyrynen, S. 1982: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa. (Abstract: Terri light crawler in timber transport.) — *Folia Forestalia* 538. 21 s.
- Takalo, S. & Myllymäki, T. 1984: Honda-puutarhatraktori kuormajuonnossa. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 161. 34 s.
- Vuollekoski, M. 1983: Hydrostaattisella voimansiirrolla varustetun kaivurin soveltuvuus oijenperkaukseen. (Summary: Evaluation of a specially developed excavator for forest ditch cleaning.) — *Folia Forestalia* 578. 13 s.

SUMMARY:

TREE DAMAGE CAUSED BY EXCAVATING MACHINES IN DITCH NETWORK MAINTENANCE

The aim of the study was to determine the effects of ditch network maintenance on tree damage. An inventory of tree damage caused by five excavators, four backhoes and one small single-track backhoe was carried out in the western part of Finland during the frost free seasons in 1991–1993 (Tab. 1, Fig. 1). The total number of observed damaged trees was 3640 (Tab. 3).

The proportion of damaged trees was 1.1–2.4% in tree stands ditched by backhoes and excavators, if the ditch lines had been opened in advance. The corresponding proportion caused by the small-size single-track backhoe was 0.9%, if the ditch lines had not been opened in advance. The damage to tree stands was affected by the machine type, the work type and the width of the opened ditch line (Tabs. 2 and 3, Fig. 4). Excavators caused more stem damage in the ditch cleaning than traditional backhoes did ($p < 0.02$).

The proportion of trees with stem damage was 78–88% of the total numbers of damaged trees depending on the machine and work type. The proportion of trees with root neck damage was 1%, only (Tab. 3). About 50% of the trees with stem damage were leaning trees, the proportion of deep wound damage being 31.4–49.7% (Tab. 4). Birch was the most typical

tree species having stem damage. That was to be expected, since after first time drainage the proportion of birch and other hardwoods increases on peatlands. The mean distances of stem-damaged trees from the center line of the ditch were 234–277 cm on work sites ditched by backhoes and excavators (Tab. 4, Fig. 2). The corresponding distance was 145 cm when using single-track backhoe.

The diameter (DBH) of damaged trees was 8–10 cm (Tab. 3). Thus, most of the damaged trees had only little monetary value. In the long run, however, decay injuries were assumed to reduce the value of pulpwood and sawlogs. It was also assumed that the most serious tree damage may appear 15–20 years after ditch cleaning in old drained heavily-stocked spruce swamp areas.

The scoop of the backhoe and the excavated soil caused most of stem damage (Fig. 3). The cabin of the excavators caused 29% of the stem damage in the ditch cleaning. The residual wood on the ditch line openings must also be considered (3–8%) as a factor causing stem damage.

The number of trees with stem damage decreased as the width of the ditch line opening increased (Tab. 5, Fig. 4). The optimum width of the ditch line for traditional machine types

was assumed to be 450–500 cm considering the growth losses of tree stand, the stem damage and work productivity. For the single-track

backhoe, the ditch line of 400 cm in width seemed to be enough.

Received 2.IV. 1994

Approved 13.V. 1994