

FOLIA FORESTALIA 431

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1980

TIMO KYTTÄLÄ

PUUSTON VAURIOITUMINEN
HARVENNUSHAKKUISSA —
KIRJALLISUUSTARKASTELU

STAND DAMAGE DURING
THINNINGS
— LITERATURE REVIEW

- 1978 No 365 Tervo, Mikko: Metsänomistajaryhmittäiset hakkuut ja niiden suhdanneherkkyys Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1955—1975.
The cut of roundwood and its business cycles in Southern and Northern Finland by forest ownership groups, 1955—1975.
- No 366 Ryynänen, Leena: Kotimaisten lehtipuiden siitepölyn laadunmäärittämisestä.
Determination of quality of pollen from Finnish deciduous tree species.
- No 367 Uusitalo, Matti: Suomen metsätalous MERA-ohjelmakaudella 1965—75. Tilastoihin perustuva tarkastelu.
Finnish forestry during the MERA Programme period 1965—75. A review based on statistics.
- No 368 Kärkkäinen, Matti: Käytännön tuloksia koivuviulun saannosta.
Empirical results on birch veneer yield.
- No 369 Laitinen, Jorma: Raivaussahojen kantokäsittelylaitteiden vertailu filmianalysillä.
Comparing clearing saw sprayers with film analysis.
- No 370 Kärkkäinen, Matti: Pienten kuusitukkien mittaus.
Measurement of small spruce logs.
- No 371 Jalkanen, Risto: Maanpinnan rikkomisen vaikutus korvasiemenen satoisuuteen.
Effect of breaking soil surface on the yield of *Gyromitra esculenta*.
- No 372 Laitinen, Jorma: Kuormatraktorin tekninen käyttöaste.
Mechanical availability of forwarders.
- No 373 Petäistö, Raija-Liisa: *Pblebia gigantea* ja *Heterobasidion annosum* männyn kannoissa hakkuualoilla Suomensienien ja Savitaipaleen kunnissa.
Pblebia gigantea and *Heterobasidion annosum* in pine stumps on cutting areas in Suomensieniemi and Savitaipale.
- No 374 Kalaja, Hannu: Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakurilla.
Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F.
- 1979 No 375 Metsätalostollinen vuosikirja 1977—1978.
Yearbook of Forest Statistics 1977—1978.
- No 376 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1976—78.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1976—78.
- No 377 Kärkkäinen, Matti: Koivutukkien tarkistusmittauksia.
Control measurements of birch logs.
- No 378 Mäkelä, Markku: Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa.
Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies.
- No 379 Velling, Pirkko: Erialaisten rauduskoivuprovenienssien alkukehityksestä taimitarhalla ja kentäkokeissa.
Initial development of different *Betula pendula* Roth provenances in the seedling nursery and in field trials.
- No 380 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Suomen metsävarat lääneittäin 1971—1976.
Forest resources in Finland 1971—1976 by counties.
- No 381 Hyppönen, Mikko & Norokorpi, Yrjö: Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa.
The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland.
- No 382 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla.
Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands.
- No 383 Sirén, Matti, Vuorinen, Heikki & Sauvala, Kari: Pientraktorien heilunta.
Low-frequency vibration in small tractors.
- No 384 Löytyniemi, Kari & Rousi, Matti: Lehtipuutaimistojen hyönteistuhoista.
On insect damage in young deciduous stands.
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen.
Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys.
Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.
- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuudistusalioilla ja metsiteillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76.
Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesimyyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv. 1973—76 Suomessa.
Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.), in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmio Suomessa. Kirjallisuuskatsaus.
Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoittamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla.

FOLIA FORESTALIA 431

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Timo Kyttälä

PUUSTON VAURIOITUMINEN
HARVENNUSHAKKUISSA
– KIRJALLISUUSTARKASTELU

Stand damage during thinnings
– Literature review

KYTTÄLÄ, T. 1980. Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu. Summary: Stand damage during thinnings. — Literature review. Folia For. 431:1—20.

Lisääntyvät harvennuspuun korjuumäärät, työvoiman niukkuus, ergonomiset vaatimukset sekä korjuun kalleus ovat johtaneet menetelmiin, joissa koneellistamisastetta on pyritty nostamaan. Menetelmiä sovellettaessa tulisi ottaa huomioon jäävälle puustolle sekä maaperälle aiheutetut vauriot, sillä puuston ja kasvupaikan terveyteen perustuvat suurelta osin seuraavista hakkuista saatavat tulot ja puuntuotannon kannattavuus.

Reportissa on selvitetty kirjallisuuden perusteella koneellisesta puunkorjuusta, ajourien avaamisesta ja eri menetelmistä aiheutuvien vaurioiden seurauksia metsikön kehitykselle. Korjuuajankohdan vaikutusta puuston vaurioitumiseen on myös selvitetty. Nila-aikana suoritettua korjuussa puuston vaurioituminen ja sen seurauksena lahoutuminen on selvästi yleisempää kuin muina aikoina tapahtuvan korjuun yhteydessä. Runkovaurioista alkanut laho etenee varsin nopeasti puuaineesa aiheuttaen kasvun ja arvon alenemista. Alle 70 cm:n etäisyydellä rungosta olevien juuristovaurioiden on todettu aiheuttavan lahoutumista sitä voimakkaammin, mitä tärkeämpi juuri on vahingoittunut. Tämä etäisyys tulisi ottaa myös huomioon ajourien suunnittelussa, joskin myös kauempana tapahtuneet vauriot saattavat aiheuttaa puuaineen voittomisen.

Harvennushakkuumenetelmistä yleisin on edelleen ihmistyövaltainen tavaralajimenetelmä, jossa vaurioituneiden puiden määrä on n. 4 % jäävästä puustosta. Pitkälle koneellistetun puunkorjuun aiheuttamat vauriot ovat keskimäärin yli 10 %. Pientraktorimenetelmissä on päästy hyvissä olosuhteissa varsin alhaisiin vauriomääriin, joskin kuusikoissa jäävän puuston vaurioituminen on vielä melko suuri. Vaurioiden määrää voidaan alentaa parantamalla suunnittelua ja ajoittamalla harvennuspuun korjuu loppusyksyn ja alkutalven kuukausiksi maan rou-taannuttua.

The increasing amount of thinnings labour shortages, ergonomic demands and the high costs of harvesting have resulted in the development of harvesting methods involving a high degree of mechanization. In applying these methods, more attention should be paid to the damage caused to the remaining standing trees and terrain since the yield and profitability of subsequent cuttings is greatly dependant on the health of the trees.

The effect of damage caused by mechanical logging, laying out strip roads and different logging methods on subsequent stand development has been studied in this report on the basis of earlier published literature. The effect of logging date on the degree of stand damage has also been examined. It is evident that stand damage and resulting stem and root rot is more common when logging is carried out at the time of year when the sap is flowing. Rot starting from root and stem damage progresses rather rapidly throughout the wood and causes a reduction in tree growth and value of the wood. Root damage at distances of less than 70 cm from the stem has been found to cause more severe damage, the more important the root damaged is. This should be taken into account when planning strip roads.

The most common by used thinning method is still the short-wood method, causing damage, on the average to about 4 % of the remaining trees. The damage caused by mechanical logging is, on the average, over 10 %. Under suitable conditions, a rather low level of damage has been achieved with small tractor methods, although the damage caused in spruce stands is still rather large. Damage can be considerably reduced by improving planning and by carrying out logging during late autumn and early winter when the ground is already frozen.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. AJOURAN VAIKUTUKSET METSIKKÖÖN	4
21. Ajouraleveyden ja -välin vaikutukset metsikköön	4
22. Koneiden tilantarve	5
23. Raiteiden vaikutus metsikön kehitykseen	7
3. PUUSTON VAURIOITUMINEN	9
31. Vaurioiden tutkiminen	9
32. Vaurioiden sijainti ja aiheuttaja	9
33. Korjuuajankohdan merkitys vaurioiden syntymiseen	10
34. Korjuumenetelmien vaikutus vaurioiden määrään ja laatuun	11
341. Perinteiset menetelmät	11
342. Monitoimikoneketjut	12
343. Pientraktorimenetelmät	14
35. Vaurioiden vaikutus kasvuun	14
4. VAURIOIDEN EHKÄISEMINEN	16
41. Koneellisen puunkorjuun suunnittelu	16
42. Hakkuujärjestys	16
43. Korjuuajankohdan merkitys	16
44. Ajourien merkitys	16
45. Muita näkökohtia	17
5. TIIVISTELMÄ	17
KIRJALLISUUS — REFERENCES	19
SUMMARY	20

1. JOHDANTO

Kasvatushakkuut kattavat Suomen metsäteollisuuden raaka-ainetarpeesta lähes 40 %. Tämän osuuden ennustetaan kasvavan voimakkaasti ensi vuosikymmenellä. Korjuumäärien lisääntyminen, työvoiman niukkuus, ergonomiset vaatimukset sekä harvennuspuun korjuun korkea kustannustaso, joka saattaa ensiharvennuksissa olla päätehakkuisiin verrattuna lähes kolminkertainen, ovat vauhdittaneet uusien menetelmien ja koneiden kehittämistä. Toistaiseksi koneiden kehittäminen on pääasiassa tähdännyt päätehakkuiden tehostamiseen, minkä takia koneet ovat usein suuria ja raskaita soveltuen huonosti kasvatusmetsien puunkorjuuseen.

Harvennusmetsistä saatava puutavara on yleensä pieniläpimittaista massapuuta. Sen rahallinen arvo samoin kuin korjuutyön tuotos ovat selvästi pienempiä kuin päätehakuissa, minkä takia korjuu tulisi voida suorittaa kohtuullisin kustannuksin. Harvennuspuun korjuun kustannuksiin on vielä lisättävä kasvatettavalle puustolle aiheutetut vauriot, joiden vaikutukset voidaan nähdä vasta vuosien kuluttua. Kustan-

nuskehitys ja vaurio-ongelmat ovatkin lisäneet tarvetta kehittää harvennusmetsien puunkorjuuseen sopivia koneita ja menetelmiä, joilla tähdätään koneellistamisteen nostamiseen.

Tässä tutkimuksessa pyritään kirjallisuuden perusteella selvittämään, mitä koneellinen puunkorjuu vaikuttaa metsikön tulevaan kehitykseen. Aineistona on käytetty pääasiassa pohjoismaisia julkaisuja, joiden tuloksia voidaan soveltaa meidän olosuhteisiimme. Tavoitteena on ollut yhdistää alaa käsitteleviä tutkimustuloksia sekä näihin perustuen antaa myös viitteellisiä ohjeita harvennusmetsien koneelliseen puunkorjuuseen.

Käsitteilyä ovat lukeneet prof. Pentti Hakila, vt. prof. Matti Kärrkäinen, vt. prof. Pentti Nisula ja MMT Pertti Harstela, joilta sain myös erittäin paljon apua käsitteilyä teossa. Englanninkieliset käännökset suorittivat FM Päivikki Ojansuu ja MMK John Derome. Konekirjoituksesta ovat huolehtineet rva Aune Rytönen sekä nti Raija Siekkinen. Esitän parhaan kiitokseni kaikille, jotka auttoivat raportin tekemisessä.

2. AJOURAN VAIKUTUKSET METSIKKÖÖN

21. Ajouraleveyden ja -välin vaikutukset metsikköön

Hakkuun yhteydessä avataan maastokuljetusta varten ajouria, joiden leveys ja etäisyys vaihtelevat korjuumenetelmästä riippuen. Suurten koneiden käyttö vaatii ajouraleveyden lisäämistä, kun taas pyrkimys ergonomisesti raskaan kasaustyön vähentämiseen vaikuttaa päinvastaiseen suuntaan. Harvennushakuissa sovelletaan yleensä 30 metrin ajouraväliä.

Pitkälutteilla kasaukoneilla tai kuormatraktoreilla, jotka varustetaan 10...15 m:iin ulottuvilla kuormaimilla pyritään tehostamaan hakkuutyötä. Näissä menetelmissä ajouraväli säilyy entisellään, mutta kasauksia voidaan suorittaa palstalle tai hakkaamalla ns. LEKA-menetelmällä, jolloin käsityön osuus muodostuu kasauksessa mahdollisimman vähäiseksi. Tuotokseltaan pitkälutteinen kuormain on todettu kilpailukelpoiseksi tavallisen kuormaimen kanssa palstalle kasatun puutavaran lähikuljetuk-

nessa harvennusolosuhteissa (Taipale ja Thesslund 1979). Mikäli metsikön puustoa halutaan säästää ajouraväliä suurentamalla, mikä tosin merkitsee korjuukustannusten nousua, tähän voidaan päästä käyttämällä koneellista kasausta.

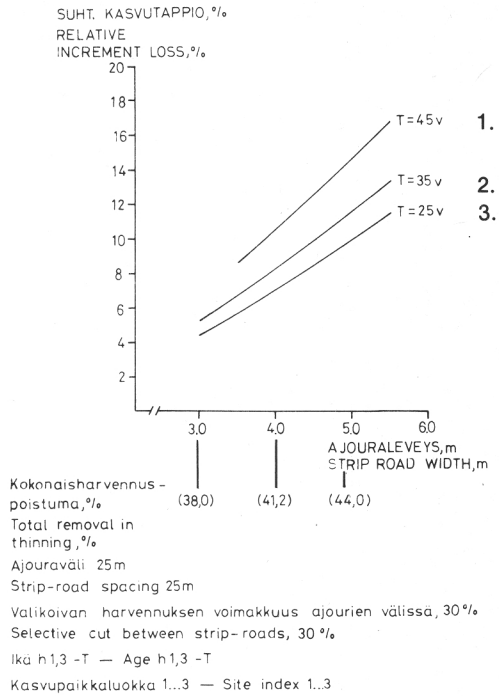
Uraleveyden pienentäminen koneellisesti kasatun puutavaran lähikuljetuksessa on hankalaa. Yleensä uraleveys päin vastoin lisääntyy koneellista kasausta käytettäessä. Kasattaessa pitkällä ajouravälillä puuta lisääntyy myös jäävän puuston vaurioituminen, sillä kasausvaurioiden lisäksi myös lähikuljetuksen aiheuttamat vauriot kasvavat koneen joutuessa kulkemaan useaan kertaan samaa uraa (Bostrom 1978). Vaurioselvitysten ja taloudellisuuslaskelmien perusteella myös Ruotsissa on päädytty suosittamaan 30 m:n ajouraväliä ja pitkäulotteisten kuormaimien käyttöä harvennushakuissa (Bostrom 1979).

Pelkän ajosta johtuvan maanpinnan painumisen on jo todettu aiheuttavan muutoksia metsikön kasvuun. Maan tiivistymisen seurauksena juuriston kehitys näet heikentyy ajettaessa samaa uraa useamman kerran (Olsson 1977). Uraleveyden kaventaminen näyttää siis edellyttävän koneiden pienentämistä ja niiden rakenteen muuttamista paremmin harvennusmetsiin sopivaksi. Lisäksi huolellisella ennakosuunnittelulla voidaan varmasti vaikuttaa uran leveyteen.

Ajouran avaamisesta johtuvat vaikutukset voidaan jakaa seuraavasti (Buch 1977).

- tuottavan metsämaan väheneminen
- valikoivan harvennuksen puustomäärän väheneminen
- vaurioriskit (runko-, juuristo-, maavauriot)
- tuulikaato- ja lumivaurioriskit
- harvennusvaikutus ajouran reunoilla (reunavaikutus)
- maan muokkaantuminen

Buch (1977) on selvittänyt metsikön kykyä korvata ajouran aiheuttamasta voimakkaammasta harvennuspoistumasta joutuva kasvun pienenemistä kantavilla mäntymailla. Vertailuaineistona käytettiin puhtaasti valikoivalla harvennuksella käsiteltyä metsikköä ilman ajouria. Tulosten mukaan ajouraleveyden ja -välin vaihtelu vaikuttaa varsin voimakkaasti metsikön kasvuun. Käytettäessä viiden metrin uraleveyttä ja 25 m:n ajouraväliä harvennusvoimakkuus lisääntyi, ja kasvu vähentyi 0,8 m³/ha/a vertailuaineistoon nähden. Kuvasta 1 voi-



Kuva 1. Ajouraleveyden vaikutus suhteelliseen tilavuuskasvuun (Buch 1977).

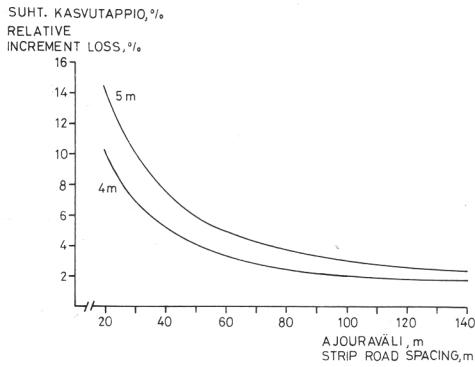
Fig. 1. Relationship between yearly increment losses and strip road width (Buch 1977).

daan havaita, että hyvillä kasvupaikoilla tilavuuskasvutappio on jonkin verran pienempi kuin huonoilla metsätyypeillä. Tämä osoittaa puuston kykyä hyödyntää ajourien kasvutila viljavilla kasvupaikoilla paremmin kuin karuilla.

Ajouravälin suurentamisella kasvutappioita voidaan jossain määrin lieventää. Käytettäessä uraväliä 120 m sekä viiden metrin uraleveyttä harvennusvoimakkuus muodostui selvästi edellistä pienemmäksi. Vastaava kasvutappio oli enää 0,2 m³/ha/a (kuva 2).

22. Koneiden tilantarve

Ajourilla on suuri vaikutus metsikön tulevaan kehitykseen. Uran liiallinen leveys johtaa selviin kasvutappioihin. Toisaalta kapeiden urien seurauksena vauriot aiheuttavat menetyksiä. Uraleveyden täsmällinen määrittäminen luonnon olosuhteissa on aina vaikeaa. Eri koneiden vaatima tilantarve on myös erilainen. Vaikka onkin todettu, että



Kokonaisharvennuspoistuma %
Total removal in thinning %

Ajouraleveys	4 m	37,0	33,5	32,3
Strip-road width	5 m	38,0	34,4	32,9

Valikoivan harvennuksen voimakkuus ajourien välissä, 30%
Selective cut between strip-roads, 30%

Ikä h 1,3 35v.
Age h 1,3 35v.

Kuva 2. Ajouravälin vaikutus suhteelliseen tilavuuskasvuun (B u c h t 1977).

Fig. 2. Relationship between relative yearly increment losses and strip road spacing (B u c h t 1977).

suurien koneiden aiheuttamien vaurioiden määrässä ei ole huomattavaa eroa verrattaessa niitä pienempiin metsätraktoreihin vastaavissa olosuhteissa, ne vaativat kuitenkin liikkumiseensa enemmän tilaa. Koneiden tilantarpeeseen vaikuttavat mm. seuraavat seikat:

- koneen leveys
- koneen pituus
- ohjauksjärjestelmä, runkonivelen sijainti ja ohjauksen tarkkuus
- kuljettajan näkökenttä
- maasto-olosuhteet
- taakan koko

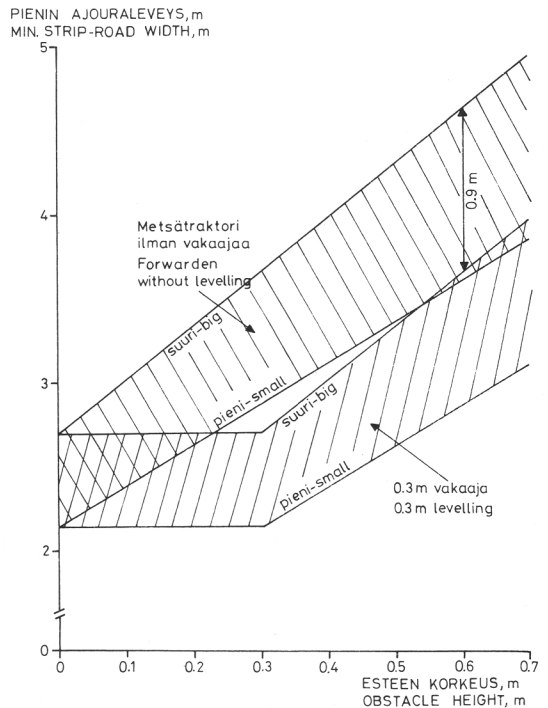
Pienimmillään ajouran leveys voi olla 2,9...3,9 m tasaisessa maastossa koneen koosta riippuen siten, että raskaat koneet vaativat yleensä enemmän tilaa kuin pienet ja keskisuuret metsätraktorit. Esteet lisäävät uran leveyttä varsin voimakkaasti. Esim. 0,6 m korkean esteen on todettu lisäävän uran leveyden 3,7...4,6 m:iin. Koneen sivuttaista heiluntaa ja tilantarvetta voidaan vähentää vakaajalla, jonka merkitys korostuu suurissa metsätraktoreissa. Kuvassa 3 on havainnollistettu esteen koon ja vakaajan vaikutus uran leveyteen pienellä ja suurella metsätraktorilla (H ä k a n s s o n 1977).

Monitoimikoneen koko vaikuttaa varsin voimakkaasti ajouraleveyteen. Harvennushakkuisiin suunniteltu prosessori pystyy

selvitysten mukaan työskentelemään yhtä leveän ajouran puitteissa kuin keskikokoinen metsätraktori. Sen sijaan suuri päätehakkuisiin suunniteltu prosessori vaati selvästi leveämmän uran. Eräessä vertailevassa tutkimuksessa suuri prosessori vaati 5,9 m:n uran, kun pienellä prosessorilla voitiin tyytyä 4,4 m:n uraan. Tämän lisäksi pieni kone aiheutti myös vähemmän vaurioita (B o s t r ö m 1978).

Taulukossa 1 on esitetty koneiden keskimääräinen tilantarve eräissä harvennushakkuumenetelmissä. Järeän prosessorin tilantarve on selvästi suurempi kuin muissa menetelmissä.

Harvennuspuun korjuuseen suunnitellut pientraktorit pystyvät työskentelemään huomattavasti pienemmillä ajourilla kuin normaalit metsätraktorit. Juontoon käytetyille pientraktorille riittää 2,5 m:n ura, kun koneen leveys on vain 1,6 m. Pientraktoriperustainen harvesteri työskentelee jäävän puuston seassa palstalla kasaten valmistamansa puutavaran joko ajouran varteen tai palstalle. Tässä menetelmässä runkovau-



Kuva 3. Pienin kulkutila koneelle ilman vakaajaa ja 0,3 m:n vakaajalla (H ä k a n s s o n 1977).

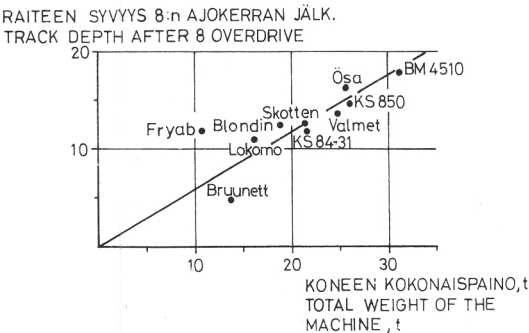
Fig. 3. Minimum strip road width levelling and with 0,3 meters levelling of the load carrier (H ä k a n s s o n 1977).

Taulukko 1. Ajouraleveys eri harvennusmenetelmiä ja koneita käytettäessä (B o s t r ö m 1978).
 Table 1. Strip road width when using different thinning methods and different machines (B o s t r ö m 1978).

Harvennusmenetelmä Thinning method	Kuormatraktorityyppi — Type of forwarder			Keskiarvo, m Mean, m
	Rottne ilman teloja without band uran leveys, m — strip road width, m	Blondin Keskikokoinen Medium sized with band	Suuri Large with band	
Hakkuu ajouran varteen — Strip-road cutting	4,38	4,77	4,89	4,53
Tavaralajimenetelmä + kasaus vinssamalla Short-wood method + bunching by winch	4,51	4,77	5,23	4,70
Puiden vinssaus + pieni prosessori SP 26 Bunching by winch + small processor SP 26	4,40	..	..	4,40
Puiden vinssaus + suuri prosessori Twigg Bunching by winch + big processor Twigg	6,37	5,60	5,66	5,88
Keskiarvo, m Mean, m	4,63	4,92	5,46	4,82

rioiden välttäminen riippuu erittäin paljon kuljettajan ammattitaidosta. Pintamaastolle ja juuristolle aiheutuvia vaurioita on vaikea välttää sulan maan aikana. Pientraktori-
 menetelmät kaipaavat lisäselvityksiä siitä, mitä hyötyä kapeat ajourat tarjoavat metsikön kehityksen kannalta. Jos kapeita 2,5...3 m:n ajouria avataan toisaalta jopa 10 m välein, voi ajouran kapeuden tuoma etu häipyä ajourien tiheyden vaikutukseen.

Ajouran esteettömyyden lisäksi myös eräät muut suunnittelussa huomioon otettavat tekijät vaikuttavat koneen tilantarpeeseen kasvatushakuissa. Mutkittelu, sivukaltevuus ja upottavuus lisäävät vaurioitumisriskiä ja johtavat siten uran leveyden lisäämiseen.



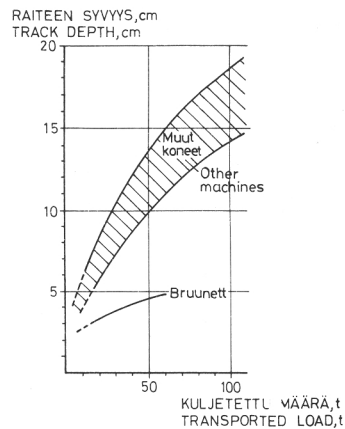
Kuva 4. Kuorman painon vaikutus raiteen syvyyteen kahdeksan ajokerran jälkeen (H all o n b o r g 1979).

Fig. 4. Relationship between track dept and the weight of the machine after being driven over eight times (H all o n b o r g 1979).

23. Raiteiden vaikutus metsikön kehitykseen

Koneet, joiden kokonaispaino saattaa olla lähes 30 t, saattavat painaa ajouriin raiteita. Hyvillä kasvupaikoilla urien syvyys kasvaa karuja kasvupaikkoja voimakkaammin ajettaessa samaa uraa useaan kertaan, jolloin niiden on todettu alentavan myös metsikön kasvua. Seuraavien seikkojen voidaan katsoa lisäävän raiteiden syvyyttä (B o s t r ö m 1978):

- metsätyypin parantuminen
- korjuun ajoittuminen kevääseen
- kasauksen koneellistaminen
- raskaiden koneiden käyttäminen
- maaston vaikeutuminen



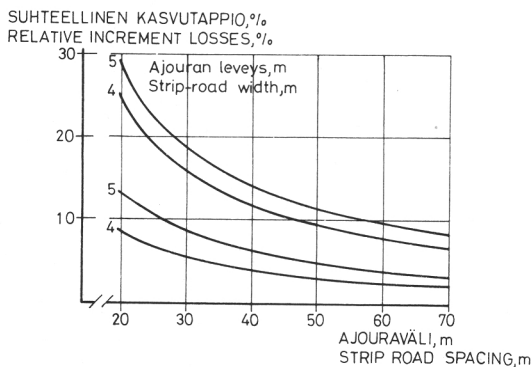
Kuva 5. Raiteiden syvyyden suhde kuljetettuun puumäärään (H all o n b o r g 1979).

Fig. 5. Relationship between track dept and transported load width different machines (H all o n b o r g 1979).

Raiteiden syvyyttä voidaan vähentää käytämällä teloja tai pyöräkoneita, joiden pintapaine on alhainen. Raiteiden syvyyteen vaikuttaa ajokertojen määrän lisäksi varsin voimakkaasti myös koneen kokonaispaino (kuva 4).

Verrattaessa samoja koneita ja kuljetetun puumäärän suhdetta urien muodostumiseen, voidaan havaita, että varsinaisesti kasvatusmetsien puunkorjuuseen suunniteltu Bruunett metsätraktori alittaa selvästi muiden kuormatraktoreiden arvot (kuva 5).

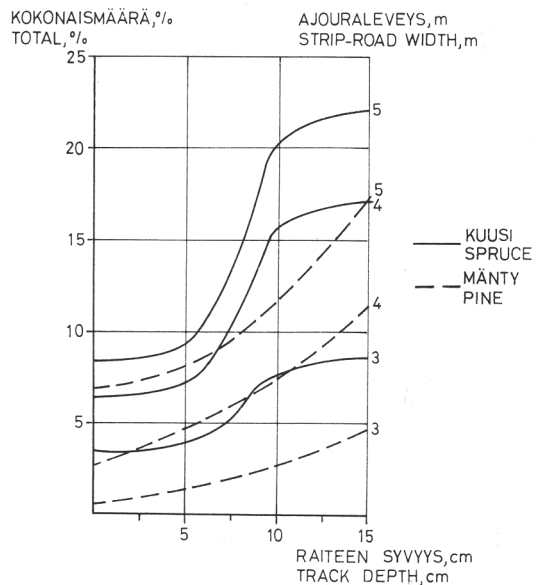
Kantavilla mailla ja maan ollessa rou-dassa raiteiden muodostuminen on lähes merkityksetöntä. Syvien urien aiheuttama kasvutappio on suurempi kuin vähäisten pintaraiteiden, minkä takia suunnittelussa tulisi ottaa huomioon maaston kantavuus ja ajoittaa kuljetus huonosti kantavilla mailla talvikuukausiksi. Raiteiden kasvua vähentävä vaikutus on suhteellisen voimakas, mutta se lievenee ajouravälin suuressa (kuva 6).



Kuva 6. Suhteellinen kasvutappio 12 vuotta ensiharvennuksen jälkeen eri ajouraväleillä metsiköissä, joissa koneen aiheuttamat raiteet ovat syviä tai vähäisiä (Buch ja Fries, Boströmin mukaan 1979).

Fig. 6. Relative increment losses 12 years after first thinning for strip road spacing and road width for stands with or without deep tracks in the roads (Buch and Fries, according Boström 1979).

Kuvasta 6 voidaan myös havaita, että ajouraleveyden vaikutus kasvuun on vähäisempi kuin syvien urien aiheuttama kasvun pieneminen. Syvien urien on lisäksi todettu lisäävän tuulikaatoriskiä. Kuusi ajouran reunapuuna on pinnallisen juuristorakenteensa vuoksi alttiimpi tuulivaurioille kuin mänty. Raiteen syvyyden lisääntyessä 5...10 cm:iin kuusen tuulivaurioriski kasvaa selvästi mäntyä voimakkaammin (kuva 7). On kuitenkin otettava huomioon, että ura pyrkii muodostumaan syväksi nimenomaan siellä, missä maaperä saattaa muutoinkin olla myrskytuhoille otollinen.



Kuva 7. Ajouran leveyden ja raiteiden syvyyden vaikutus tuulikaatojen määrään männiköissä ja kuusikoissa uran 1 m:n reunavyöhykkeellä (Persson 1975).

Fig. 7. The incidence of windthrows along 1 m-broad strip road edge for tracks of varying depths and for various strip road widths (Persson 1975).

3. PUUSTON VAURIOITUMINEN

31. Vaurioiden tutkiminen

Koneiden jäävälle puustolle aiheuttamia vaurioita alettiin tutkia Suomessa 1960-luvun alkupuolella. Tutkimukset perustuivat enemmän vaurioiden teknisiin vaikutuksiin eikä niinkään metsikön tuotokseen vaikuttaviin tekijöihin. Sen sijaan Ruotsissa tutkimukset kohdistuivat myös vaurioiden vaikutukseen metsikön kehitykseen. Tällä hetkellä jäävän puuston vaurioihin kohdistuva tutkimustoiminta on varsin vilkasta. Menetelmiä pyritään yhtenäistämään Pohjoismaissa tulosten vertailukelpoisuuden parantamiseksi.

Vauriot jaetaan yleensä runko- ja juuristovaurioihin, joiden määrä ilmaistaan suhteessa jäävän puuston runkolukuun. Inventoinnit kohdistuvat pääasiassa seuraavien muuttujien tarkasteluun:

- ajouraväli
- ajouraleveys
- jäävän puuston vaurioituminen
- raiteiden syvyys.

Jäävän puuston vaurioissa selvitetään mit-tauksin vaurion vaikutuksen kannalta oleelliset tekijät kuten vaurion koko (pinta-ala), syvyys, sijainti puussa ja vauriopuun etäisyys uralta. Lisäksi pyritään selvittämään vaurion aiheuttaja ja syy. Seuraavat maasto-, puusto- ja leimikkotekijät vaikuttavat puuston vaurioitumiseen:

- jäävän puuston tiheys
- poistettavan puuston määrä
- maaston liikkumisvaikeus
- puulaji
- korjuuajankohta
- maalaji

32. Vaurioiden sijainti ja aiheuttaja

Ajovauriot kohdistuvat pääasiassa rungon alaosaan, juurenniskaan ja pintajuuristoon. Runkovauriot aiheutuvat useimmiten perävaunun kolhaisuista, koneen kallistumisen, takapyörien oikaisun tai liian kapeaksi tehdyn ajouran takia. Runkovaurioita aiheutuu myös kuormauksessa taakan tai kouran vahingoittaessa kasvavaa puuta. Myös kaa-

totyön yhteydessä saattaa kasvatettava puusto vaurioitua. Erittäin ongelmallista on tiheän ylispuuston poistaminen kehittyneen taimikon päältä, jolloin puustosta voi vaurioitua korjuussa jopa yli neljännes (Thesslund 1976).

Kuljetuksessa ei ole havaittu selvää eroa vaurioiden määrässä pyörä- ja telakoneen kesken, joskin telavarusteisen koneen aiheuttamat vauriot ovat laadultaan pahempia ja syvempiä kuin pyöräkoneen kolhaisut (Kärkkäinen 1970). Juurenniskan vaurioita pidetään hyvin haitallisina. Ne syntyvät useimmiten koneen ajaessa niskan päältä. Myös vinnauksen yhteydessä taakka aiheuttaa usein hankalia juurenniskavaurioita.

Suuri pintapaine ja pyörien luistaminen edistävät juuristovaurioiden syntymistä. Ne aiheuttavat painumista ja raiteiden muodostumista, joiden seurauksena tapahtuu eriasteisia pintavaurioita ja juurten katkeilemisia. Painuminen aiheuttaa myös pintajuuriston maayhteyden katkeamisen ajouralle, jolloin suuri osa vapautuneesta kasvutilasta jää juuriston osalta käyttämättä. Tämän kasvutilan hyödyntämiseen saattaa kuusikoissa kuluu yli 10 vuotta (Kardell 1978). Toisaalta hyvillä kasvupaikoilla juuristo reagoi muutokseen nopeammin kuin karuilla mailla ja pystyy valtaamaan ajourilta vapautuneen kasvutilan, mikä lieventää vaurioitumisesta johtuvaa kasvun pienemistä (Buch 1977).

Juuristo vaurioituu herkimmin kuusikoissa, koska pääosa juuristosta on kivennäismaan ja humuskerroksen välimailla. Alle metrin päässä rungosta olevat juurensosat vaurioituvat herkimmin ja infektoituvat myös suuremmalla todennäköisyydellä kuin kauempana sijaitsevat vauriot. Eräissä ruotsalaisissa tutkimuksissa 84 % puista, jotka olivat alle metrin etäisyydellä uran reunasta, todettiin jonkinasteinen vaurio, mikä osoittaa, että uran reunapuut ovat varsin alttiita eri asteisille vahingoille (Björkhem ym. 1974). Myös lahon eteneminen on sitä nopeampaa mitä lähem-

pänä juurenniskaa vaurio tapahtuu, koska maanpinnan läheisyydessä sijaitseva vaurio on myös varsin otollinen lahottajasienien kasvupaikka. Vielä 150 cm päässä kaato-leikkauksesta sijaitsevat juurivauriot aiheuttavat yleensä nopeammin etenevän lahon kuin runkovauriot (Harvennuspuun... 1972). Lahon eteneminen voi pahimmillaan olla jopa 80 cm vuodessa (Kallio 1978).

Väri-vian eteneminen vaurioituneen juuren välityksellä tapahtuu n. 50 cm vuosivauhtia. Pienten juurien vaurioissa vikojen eteneminen on hitaampaa ja alle 2 cm:n paksuiset vaurioituneet juuret aiheuttavat vain väri-vikoja (Nilsson & Hyppel 1968, Isomäki 1972).

33. Korjuuajankohdan merkitys vaurioiden syntymiseen

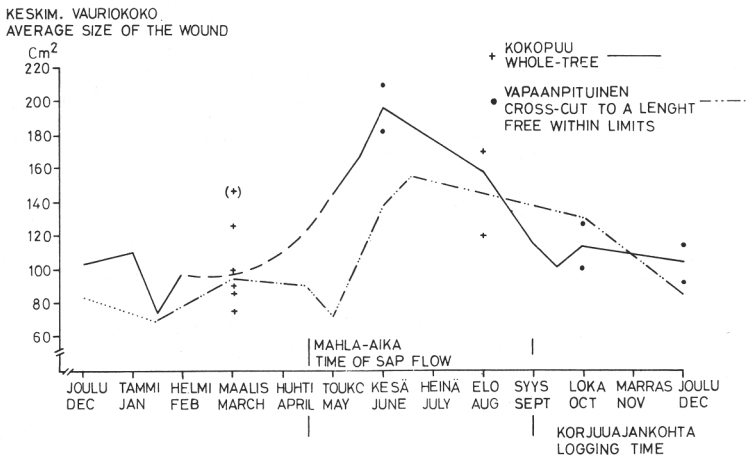
Puulajit poikkeavat selvästi toisistaan vaurioalttiudessa. Kuusi vaurioituu selvästi mäntyä ja koivua herkemmin. Kuusen ja koivun vauriot infektoituvat huomattavasti mäntyä helpommin (Nilsson & Hyppel 1968).

Korjuuajankohdalla on erittäin tärkeä merkitys puuston vaurioitumisessa. Kesä-aikana puuston vaurioalttiisuus ja vaurioiden koko ovat selvästi suurempia kuin talvikuu-kausina. Nila-aikana vaurioituminen tapahtuu etenkin kuusella varsin herkästi. Tällöin pienikin kolhaisu saa usein aikaan kuoren

irtoamisen puuaineesta (Meng 1978). Nila-aikana syntyneistä vaurioista aiheutuu myös todennäköisimmin lahovikoja. Hakilain ja Laihon (1967) kirvesleimatutkimuksessa kesäkuukausina leimatut kuuset saivat lahovian helpoimmin. Alkukesällä syntyneessä vauriossa myös lahon etenemisen on todettu tapahtuvan nopeammin kuin loppukesän ja talven korjuuvaurioissa (Isomäki & Kallio 1974). Kuvasta 8 voidaan selvästi havaita korjuuajankohdan merkitys runkovaurion kokoon juonnettaessa kokopuuta ja vapaanpituista puutavaraa (Meng 1978).

Vaurion koolla on myös havaittu olevan merkitystä vaurion laatuun ja lahon aiheuttajien iskeytymiseen. Pinta-alaakin tärkeämpi on kuitenkin vaurion syvyys, sillä syvästä vauriosta laho etenee helposti (Nilsson & Hyppel 1968, Kärkkäinen 1971).

Myös juuristovauriot ovat kesällä selvästi yleisempiä ja vaarallisempia kuin talvikuu-kausien aikana. Talvella routa ja lumi suojaavat juuristoa tehokkaasti, niin että painuminen ja koneen kaivautuminen on vähäistä. Hanneliuksen ja Lillandtin (1970) tutkimuksessa juuristovaurioita sattui kesäkuukausina 1,5...2 kertaa enemmän kuin runkovaurioita. Talvella suhde oli lähes päinvastainen. Maanpinnan kosteus lisää koneen painumista ja urien syntymistä, jolloin vauriot lisääntyvät ja ne ovat usein myös pahempia kuin kantavilla mailla.



Kuva 8. Vaurion pinta-alan riippuvuus korjuuajankohdasta juonnettaessa metsätraktorilla kokopuuta ja vapaanpituista tavaraa (Meng 1978).

Fig. 8. Relationship between wound size and logging time when skidding whole-trees and varying log lengths (Meng 1978).

Taulukko 2. Puuston vaurioituminen eri tavaralajimenetelmissä ja ajouratarve (H a r s t e l a 1978).

Table 2. Stand damage caused by different short-wood methods and strip road requirements (H a r s t e l a 1978).

Korjuumenetelmä Logging method	Vaurioituneita puita, % Damaged trees, %	Ajouratarve, % Space required for strip road, %
1. N. 3-m kuitupuun teko ajouran varteen ja kuormatraktorikuljetus, ajouraväli n. 30 m <i>Short-wood method manual bunching to the strip road an forwarding (strip road space c. 30 m)</i>	0,5—9,8	13—20
2. N. 3-m kuitupuun teko palstalle ja kuormatraktorikuljetus, liukupuomikuorma (20 m) <i>Cutting of c. 3-m pulpwood at felling site and forwarding, loading by slide boom (c. 20 m)</i>	6,0—11,0	13—20
3. Teko LEKA-menetelmällä, kasaus NORMET-kasauskoneella ja kuormatraktorikuljetus (30 m) <i>Cutting by SCAPE-method,¹⁾ bunching by NORMET-bunching machine and forwarding (c. 30 m)</i>	1,4—4,7	13
4. Tavaralajimenetelmä, johon liittyy vinssaus (65 m) ja kuormatraktorikuljetus. <i>Short-wood method, bunching by winch (c. 65 m) and forwarding.</i>	3,9*	7

*B o s t r ö m 1978

¹⁾ SCAPE-method is a cutting system, where c. 5-m logs are heaped on the cutting place so that only small logs are carried and medium-size logs straightened.

Juuristovaurioiden syntymiseen vaikuttaa myös puuston ikä voimakkaammin kuin runkovaurioihin. Kuusella on havaittu että vanhetessaan sen juuristo on hyvin pinnallinen ja ulottuu kauas rungosta, jolloin se on hyvin altis vaurioitumaan. Tämän takia myöhäisellä iällä suoritettavat harvennukset ovat vaurioitumisen kannalta varsin haitallisia ja niitä tulisi välttää (Harvennuspöytäkirja... 1972).

34. Korjuumenetelmien vaikutus vaurioiden määrään ja laatuun

341. Perinteiset menetelmät

Tavaralajimenetelmä, jossa kaato, valmistus ja usein myös kasaus suoritetaan ihmistyönä, aiheuttaa jäävälle puustolle selvästi vähemmän vaurioita kuin koneistetut menetelmät (M e n g 1978, B o s t r ö m 1978). Tässä menetelmässä eniten vaurioita aiheuttaa kuormatraktorilla tapahtuva lähikuljetus, jonka osuus oli ruotsalaisen tutkimuksen mukaan 90 % kaikista korjuuvaurioista. Yleisin vaurion aiheuttaja oli peruskone. Peruskoneen koolla ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta vaurioiden määrään muuten samanlaisissa olosuhteissa (K ä r k ä i n e n 1970). B o s t r ö m i n (1978)

vertailevassa tutkimuksessa tavaralajimenetelmässä vaurioitui 3,8 % jäävästä puustosta. Eri tutkimuksissa on yleensä päädytty 0,5 %...9,8 %:n vauriopuusuuksiin kasattaessa käsin (H a r s t e l a 1978). Vaihteluväli osoittaa olosuhteiden, työmaasuunnittelun ja työn huolellisuuden suuren vaikutuksen jäävän puuston vaurioitumiseen, kuten taulukosta 2 voidaan havaita (H a r s t e l a 1978).

Taulukko 3. Vaurioprocentin riippuvuus menetelmästä ja juontovälineestä (M e n g 1978).

Table 3. Relationship between damage % and skidding equipment (M e n g 1978).

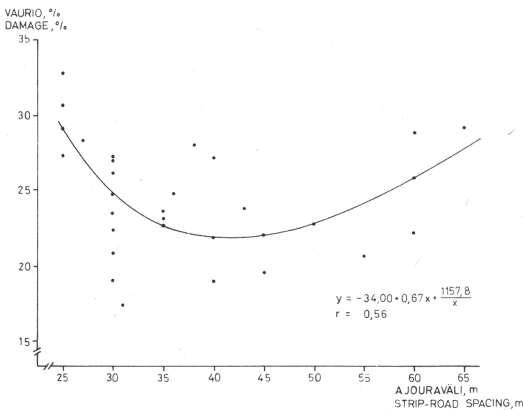
Menetelmä Method	Juontoväline Skidding equipment	Vaurio, % Damage, %
Kokopuu <i>Whole-tree</i>	Juontotraktori <i>Skidder</i>	25,2
Vapaanpituinen <i>Cross cut to the length free within limits</i>	Juontoraktori <i>Skidder</i>	21,2 tiheä <i>dense</i>
Vapaanpituinen <i>Cross cut to the length free within limits</i>	Juontoraktori <i>Skidder</i>	10,7 harva <i>sparce</i>
Vapaanpituinen <i>Cross cut to the length free within limits</i>	Hevonen <i>Horse</i>	17,7
Ranka (4—6 m) <i>Long length (4—6 m)</i>	Ihminen <i>Manual</i>	5,6

Saksalaisen tutkimuksen mukaan lyhyen tavarann juonto aiheutti selvästi vähemmän vaurioita kuin pitkän tavarann juonto. Eri juontomenetelmien välillä havaittiin selviä poikkeamia, eikä esimerkiksi hevosella päästy koneellisia menetelmiä parempiin tuloksiin, kuten taulukosta 3 ilmenee (M e n g 1978). Hevosjuonnossa vauriot ovat usein samankaltaisia kuin vinssauksessa, jolloin taakka hankaa puun tyveä rikkoen kuoren.

Ajouraväliä suurennettaessa puutavara on kasattava erillisellä koneella uran varteen. Se tehdään useimmiten vinssaamalla. M e n g i n (1978) mukaan ajouravälin suurentaminen ei tietyn rajan jälkeen vähennä enää vaurioiden määrää. Vaurioiden kannalta optimaalinen ajouraväli on em. tutkimuksen mukaan 40 m (kuva 9).

Vinssauksen vauriot syntyvät pääasiassa vaijerin tai taakan osuessa puuhun. B o s t r ö m i n (1978) mukaan taakka aiheuttaa noin 70 % vinssausvaurioista loppujen ollessa vaijerin aiheuttamia. Tutkimuksissa ei ole voitu osoittaa merkitseviä eroja eri vinttureiden aiheuttamien vaurioiden määrissä.

Keveämmillä esijuontomenetelmillä ei päästä juuri pienempiin vauriomääriin kuin raskaalla kalustolla. H a r s t e l a n ja T e r v o n (1977 ja 1979) mukaan aiheutui toisella työmaalla kevyen linjan menetelmillä melko runsaasti vaurioita käytettäessä LEKA-menetelmän yhteydessä vinssausta. Sitä vastoin toisella työmaalla vinssausvauriot olivat vähäisiä. Tämä osoittaa työn huolellisuuden merkityksen vaurioiden



Kuva 9. Vaurioiden määrän riippuvuus ajouravälistä (M e n g 1978).

Fig. 9. Relationship between damage % and strip road spacing (M e n g 1978).

ehkäisemisessä (taulukko 4). Keveissä menetelmissä valtaosa vaurioista oli pintavaurioita, jotka eivät ulotu puuaineeseen asti. Lisäksi on havaittavissa selvä ero LEKA-menetelmän ja lyhyeksi hakatun tavarann juontovaurioiden välillä.

Raskaamman linjan menetelmässä, jossa käytettiin pitkäulotteista liukupuomia, vaurioprocentti oli 4,7...8,9 % menetelmästä riippuen. Eroa edellisiin menetelmiin ei voida todeta (T a i p a l e ja T h e s s l u n d 1979). Näissä menetelmissä vaurion laatu on kuitenkin yleensä pahempi kuin keveissä menetelmissä johtuen taakkojen koosta sekä liikeratojen vaikeasta hallittavuudesta.

Raskas kalusto aiheuttaa kuitenkin vaurioita pintamaastolle. Kuten edellä on jo mainittu, koneiden suuri paino lisää raitteiden muodostumista ja juuristovaurioita, jotka on myös otettava huomioon vertailtaessa raskaan ja keveämmän kaluston käyttöominaisuuksia harvennusoloissa. Toisaalta kasauksen koneistuminen vaatii verraten järeätä kalustoa, koska pitkäulotteiset puomit vaativat jo tasapainosyistä raskaan peruskoneen.

Keveitä juontolaitteita käytettäessä ihminen pystyy vaikuttamaan työn suoritukseen suuremmana määrin kuin pidemmälle koneellistetuissa menetelmissä, jolloin myös työmotivaatiolla ja huolellisuudella on suuri merkitys vaurioiden ehkäisemisessä. Tulosten mukaan keveiden menetelmien aiheuttamat puustovauriot vaihtelevat paljon jopa samojen kokeiden aikana. H a r s t e l a n ja T e r v o n (1977) kokeissa runkovauriot vaihtelivat 1...5 %:iin samalla menetelmällä. Eroja vaurioiden määrissä saattaa lisäksi syntyä vintturin radio- ja käsiohjauksen välille, sillä edellisessä käyttäjä näkee koko ajan taakan ja voi näin paremmin ohjata taakkaa esim. taittopöyrän avulla.

342. Monitoimikoneketjut

Monitoimikoneiden käyttö harvennushakkuissa on lisääntynyt viime vuosina. Ruotissa korjataan nykyisin noin 30 % harvennuspusta monitoimikoneilla. Koneellistaminen johtaa kuitenkin vaurioiden lisääntymiseen. Tavallisimmin vaurio syntyy otettaessa puu käsittelyyn. Sisäänottovaiheessa käsiteltävä puu kolhii jäävää puustoa.

Taulukko 4. Puuston vaurioituminen keveitä esijuontomenetelmiä käytettäessä kahdella eri työmaalla (Harstela ja Tervo 1979).

Table 4. Stand damage caused when using light preliminary skidding equipment, in two different working sites (Harstela ja Tervo 1979).

Esijuontomenetelmä Preliminary skidding-method	Vaurioituneita puita % — Damage %		
	Esijuonto Preliminary skidding	Kuljetus Forwarding	Yhteensä Total
Hakkuu LEKA-menetelmällä, kasaus pienvintturilla Cutting by SCAPE-method heaping by small winch	5,1 (2,9) ¹⁾	2,4 (1,3)	7,5 (3,3)
N. 3-m kuitupuun teko palstalle, kasaus pienvintturilla Cutting of c. 3 m pulpwood on the cutting place, heaping by small winch	.. (—)	.. (0,6)	.. (0,6)
Hakkuu LEKA-menetelmällä, kasaus traktorivintturilla Cutting by SCAPE-method, heaping by tractor winch	14,6	1,7	16,3
N. 3-kuitupuun teko palstalle, kasaus traktorivintturilla Cutting of c. 3-m pulpwood on the cutting place, heaping by tractor winch	2,7	2,0	4,7
Hakkuu LEKA-menetelmällä, kasaus hevosella Cutting by SCAPE-method, heaping by horse	6,1 (1,1)	2,0 (1,2)	8,1 (2,3)
N. 3-m kuitupuun teko palstalle, kasaus hevosella Cutting of c. 3-m pulpwood on the cutting place, heaping by horse	3,2 (2,5)	4,0 (2,0)	7,2 (4,5)

(¹⁾) Työmaa 2
Working site 2

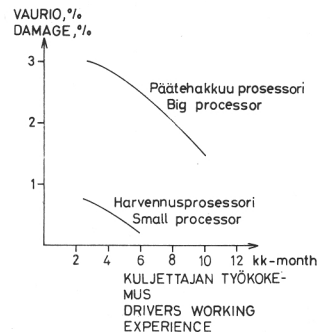
B o s t r ö m i n (1978) tutkimuksen mukaan suurin osa vaurioista syntyi kuitenkin vinssauksen aikana, joskin eroa oli myös pienen ja suuren prosessorin aiheuttamien vaurioiden määrissä (taulukko 5).

Vaurioiden suuri määrä monitoimikoneilla johtuu paljolti koneiden massiivisuudesta. Liikeradat ovat kömpelöitä ja vaikeasti hallittavissa. Uudet kuormaimen paikalle asennettavat monitoimiosat saattavat olla eräs ratkaisu harvennuspuun korjuussa, koska käsittelyosa voidaan viedä puun luo ja valmistaa se tavaralajeiksi paikallaan joko latvasta tai tyvestä käsin. Näiden laitteiden aiheuttamista vaurioista puuttuvat kuitenkin vielä tarkemmat selvitykset, mutta liikeradat lienevät kuitenkin paremmin hallittavissa kuin suurissa monitoimikoneissa.

Koneen koon lisäksi myös kuljettajan ammattitaito on merkittävä tekijä vaurioiden välttämiseksi. Työkokemuksen lisäntyessä myös vaurioiden määrässä tapahtuu selvästi pienenemistä (kuva 10). Myös hytin ja monitoimiosan etäisyys vaikuttaa puuston vaurioitumiseen. Suurissa prosessoreissa tämä etäisyys voi olla jopa neljä metriä kun se pienissä monitoimikoneissa on ehkä

vain 1,5 metriä, jolloin syöttäminen voidaan paremmin hallita ja ehkäistä jäävän puuston vaurioita.

Kokopuuhaketuksessa, jossa kone liikkuu ajouralla, aiheutui runkovaurioita 0,5...1,4 %:iin jäävästä puustosta. Sen sijaan haketusta edeltävissä työvaiheissa, joissa käytettiin kaato-kasauskonetta tai pelkkää kasauskonetta vaurioitui 2,6...6,7 % rungoista. Pääosa palstahakkurin aiheuttamista runkovaurioista aiheutui kouran tai taakan



Kuva 10. Kuljettajan työkokemuksen vaikutus vaurioiden määrään (B o s t r ö m 1978).

Fig. 10. Relationship between driver's working experience and amount of damage (B o s t r ö m 1978).

Taulukko 5. Vaurioiden aiheuttaja ja määrä monitoimikoneita käytettäessä (Boström 1978, Mikkonen 1978)¹⁾.

Table 5. Cause and amount of damages when using multi-purpose machines (Boström 1978, Mikkonen 1978).

Korjuumenetelmä Logging method	Vinssi Winch	Proessori Processor	Metsätraktori Forwarder	Muu Other	Yht. Total
Vinssaus harvennus prosessorille (SP 26) Winch-skidding + small processor (SP 26)	6,6	1,5	0,9	0,1	9,1
Vinssaus päätehakkuu prosessorille (Twig) Winch-skidding + big processor (Twig)	8,1	2,6	1,8	0,1	12,6
Proessori (ÖSA) ¹⁾ Big processor (ÖSA)					
1. kasvatettavan puuston seassa 1. among the remaining standing trees	..	11,3	..	..	11,3
2. ajouralla 2. on the strip road	..	16,6	..	..	16,6

kolhaisuista (Kälaja 1978). Juuristovaurioista ei ole tehty selvityksiä, mutta oletettavasti massiivinen palstahakkuri aiheuttaa maanpinnan painumista ja tiivistymistä vaikeuttaen juuriston kehitystä. Tämän takia koneen käyttömahdollisuudet ovat lähinnä kantavissa ensimmäisen ja toisen luokan maastoissa. Sen sijaan pientraktori-perustaisesta kaato-kasausyksiköstä on tutkittu jossain määrin myös juuristovaurioita, jotka olivat erään tutkimuksen mukaan 2,2...4,5 % jäävästä puustosta (Valonen 1979).

Useita puita kerrallaan käsittelevän, ajo-uralta käsin toimivan suuren kaato-kasauskoneen prototyypin aiheuttamat vauriot olivat erään selvityksen mukaan 16 % jäävästä runkoluvusta. Suureen vauriomäärään vaikutti koneen prototyyppiaste, minkä lisäksi oli havaittavissa tämäntyyppisen laitteen vaikea hallittavuus sekä kömpelyys, jotka osaltaan ovat vaikuttaneet suureen vaurio-prosenttiin (Melko 1979).

343. Pientraktorimenetelmät

Pientraktoreita käytetään toistaiseksi varsin vähän. Myös pienkoneiden ongelmana on jäävän puuston vaurioituminen. Kehitys on kuitenkin johtanut koneisiin ja menetelmiin, jotka aiheuttavat vähemmän vaurioita. Taulukossa 6 on esitetty muutamien pientraktoreiden aiheuttamia vauriomääriä eri menetelmiä käytettäessä.

Theslundin (1978) Makeri-tutkimuksissa vauriot olivat männikössä 0,4...1,0 % jäävästä puustosta. Kokeet tehtiin marras-joulukuussa, jolloin maa oli jäässä.

Tutkimuksen perusteella suositellaan Makerille männiköissä 2 m:n ajouraleveyttä, jos ne ovat suoria, mutta mutkittelevilla urilla sekä kuusikoissa tulisi tekijän mukaan soveltaa 3 m:n ajouraleveyttä.

Hyvissä maasto-olosuhteissa pientraktoreilla voidaan päästä hyvin alhaisiin vauriomääriin. Keski-Euroopan olosuhteissa, missä juuriston pinnallisuus ei haittaa, kokonaisvauriomäärä oli koneistetuissa Makeri-pientraktoriketjuissa nuorena ensiharvennusmännikössä menetelmästä riippuen keskimäärin vain 2...3 % jäävästä puustosta. Nämä luvut sisältävät sekä puutavaran teko- että kuljetusvaiheessa syntyneet runko- ja juurivauriot, joten koneen soveltuvuus harvennuspuun korjuuseen näyttää näissä oloissa lupaavalta (Suomen ja SEV:in... 1979).

Kun kone liikkuu eräissä pientraktorimenetelmissä jäävän puuston seassa, kuljettajan ammattitaidolla on erittäin suuri merkitys vaurioiden ehkäisemisessä. Valosen (1979) mukaan kokeneen kuljettajan vaurioittama puusto oli puolet siitä mitä kokemattomalla. Vaurioselvitysten perusteella näyttää vaurioitumisriski olevan kuusikoissa verraten suuri, mikäli pienkoneelle ei avata ajouria.

35. Vaurioiden vaikutus kasvuun

Monissa tutkimuksissa on todettu ajo-vaurioiden pienentävän puuston kasvua. Friess (1976) on tutkimuksessaan päättänyt 2,3...6,7 m³:n kasvutappioon hehtaarilla ensimmäisen viisivuotiskauden aikana ajo-vaurioiden seurauksena. Tuloksia kohtaan

Taulukko 6. Pientraktoreiden aiheuttamat jäävän puuston vauriot eri korjuumenetelmissä.

Table 6. Damage caused by mini-tractors to the remaining trees in different logging methods.

Korjuumenetelmä Logging method	Kone — Machine				
	Agria Drabant ¹⁾	Skog Basen ¹⁾	Terri 30 ¹⁾	Bob- cat ²⁾	Makeri ³⁾
	vaurioita % — damage %				
Puiden juonto ajourilla <i>Whole-tree skidding on the strip road</i>	12	..	..	..	5,7 a
Runkojen juonto ajourilla <i>Tree-length skidding on the strip road</i>	12	22	..	..	9,7 a
Runkojen juonto ilman ajouria <i>Tree-length skidding without strip road</i>	..	..	2	..	..
3...6 m kuitupuun juonto kasoista ajourilta, ajouraväli n. 30 m, ajouraleveys 2,5...3 m <i>Skidding of 3...6 m pulpwood from bunches along strip road, strip-road spacing c. 30 m and width c. 3 m</i>	8	15	..	..	K 0,1 mänty pine 2,4 kuusi spruce
3...6 m kuitupuun juonto vyöhykekasaus, ajouraväli 10 m, ajouraleveys n. 2 m. <i>Forwarding of 3 m pulpwood from bunches along strip road, zonebunching, strip road spacing c. 10 m and width c. 2 m</i>	..	..	..	..	2 mänty pine 9,2 kuusi spruce
3...6 m kuitupuun juonto ilman ajouria <i>Skidding of 3...6 m pulpwood from bunches without strip road</i>	5	9	4	..	K 1,2 mänty pine 11,2 kuusi spruce
Kaato-kasauskone <i>Feller-buncher</i>	..	..	..	4,9*	8,0 a
Harvesteri, 2-metrinen <i>Harvester, short wood</i>	..	..	..	..	6,2 a
Harvesteri, rangan teko <i>Harvester, tree length</i>	..	..	..	..	12,9 a

1. Elovaainio 1978

2. Hakkila ym. 1976

3. Mikkonen & Ylä-Hemmilä 1977

3a. Valonen 1979

K = Kuormatraktori
Forwarder

* vain runkovauriot
only stem damage

on kuitenkin esitetty kritiikkiä aineiston heikkouden takia, eikä niitä voitane pitää täysin luotettavina (Kardell 1978, Kärrkäinen 1978).

Isonmäen (1977) mukaan juuristovauriot vaikuttavat runkovaurioita enemmän kasvun heikkenemiseen. Vakavat juuristovauriot, kuten katkeamiset, saattavat pienentää puun läpimitan kasvua jopa 50 %. Suuruudeltaan yli 9 cm:n runkovaurioista aiheutui tutkimuksen mukaan n. 30 %:n väheneminen läpimitan kasvussa. Kardellin (1978) mukaan lähikuljetus aiheuttaa n. 5 m³:n suuruisen kasvutappion

hehtaaria kohti kymmenen vuoden jakson aikana. Äärimmäisessä tapauksessa, jossa kuvitellun ajouran kohdalta katkaistiin kaikki juuret, vastaava kasvutappio oli jakson aikana 12,6 m³/ha. Näin suuret menetykset ovat kuitenkin toki harvinaisia ja edellyttävätkin jo selvästi toisenlaisen korjuumenetelmän käyttöä. Bredbergin (1978) esimerkkilaskelman mukaan menetetään Ruotsissa puunkorjuun aiheuttamina kasvutappioina rahassa n. 300 milj. kr vuodessa, mikä osoittaa, että biologiset vauriot tulisi entistä enemmän ottaa huomioon korjuumenetelmää valittaessa.

4. VAURIOIDEN EHKÄISEMINEN

41. Koneellisen puunkorjuun suunnittelu

Vaurioiden määrä ja laatu vaihtelee erittäin paljon menetelmistä ja koneista riippuen. Esimerkiksi 10 %:n vaurioiden määrä on ehdottomasti liian suuri. Vaurioita voidaan ehkäistä korjuun huolellisella suunnittelulla ja ajoittamisella.

Puunkorjuun koneellistaminen asettaa suunnittelijalle entistä suurempia vaatimuksia. Suunnittelu on tehtävä käytettävän korjuukaluston ja -menetelmän mukaan. Kehitys on viime aikoina ollut kuitenkin varsin nopeaa, jolloin suunnittelijainkin on ollut vaikea pysyä kehityksen tahdissa. Kuljetuksen suorittajain mielestä suunnittelijain konetietoudessa on parantamisen varaa, koska myös vauriot aiheutuvat usein virheellisestä suunnittelusta (K y t t ä l ä 1978). Tarve konetietouden parantamisesta kohdistuu myös hakkuumiehiin, sillä usein vauriot johtuvat liian ahtaista urista ja liittymistä. H a n n e l i u k s e n ja L i l l a n d t i n (1970) vaurioselvityksen mukaan suuri osa vaurioista olisi ollut vältettävissä paremmalla suunnittelulla ja hakkuulla. Suunnittelussa tulisi entistä enemmän ottaa huomioon koneen vaatimukset. Työssä voitaisiin hyödyntää enemmän konemiesten ammattitaitoa, koska myös konemiehillä on selvitysten mukaan halukkuutta osallistua suunnittelutyöhön (K y t t ä l ä 1979).

42. Hakkuujärjestys

Hakkuun suoritus ja hakkuujärjestys ovat erittäin tärkeitä jäävän puuston vaurioitumisen kannalta. Kasat tulisi sijoittaa vähintään puolen metrin etäisyydelle kasvavasta puusta. Usein kasat sijoitetaan kuitenkin kasvavaa puuta vasten, jolloin runkovaurioita on vaikea välttää. Kasojen sijoittaminen liian lähelle ajouraa tai ajouralle vaikeuttaa koneen työskentelyä. Jos kasa jää kuormaimen toimintasäteen ulkopuolelle, kone joutuu poikkeamaan uralta.

Vaurioiden lisäksi huono hakkuujärjestys

alentaa koneiden tuotosta. Hakkuujärjestyksen parantamiseen voidaan kuljettajien mielestä päästä tehostamalla valvontaa ja lisäämällä hakkuu- ja konemiesten yhteistoimintaa (K y t t ä l ä 1978).

43. Korjuuajankohdan merkitys

Työmaan ennakkosuunnittelussa maaperän laatu ja vuodenaika ovat kuljetuksen kannalta merkittävimpiä tekijöitä. Kuusi-valtaisten metsiköiden korjuuta tulee välttää sulan maan aikaan kuten myös muiden puulajien korjuuta suomailta sekä pehmeillä hiesu- ja savimailta. Korjuuta tulisi kesäaikana keskittää avohakkuihin ja kanta-ville mäntymaille, koska mänty ei vaurioidu yhtä herkästi kuin kuusi. Toisaalta harvennusleimikoitten korjuuta tulisi välttää nila-aikana, koska tällöin vaurio syntyy helposti ja infektiovaara on suurin. Harvennusleimikoitten puutavara tulisi kuljettaa talvella roudan ja lumen suojaavan vaikutuksen vuoksi.

Harvennettavan metsikön ikä vaikuttaa myös puuston vaurioitumiseen. Ikääntyneissä kuusikoissa juuristo on pinnallinen ja ulottuu kauaksi rungosta, jolloin ne vaurioituvat varsin herkästi. Varttuneissa metsiköissä myös vaurioiden taloudelliset menetykset ovat suurimmat, puuston saavuttaessa sahapuun järeyden. Tämän takia myöhäisiä harvennuksia ei pidetä yhtä suotavina kuin nuoren kasvavan metsikön kasvatushakkuita (Harvennuspuun... 1972).

44. Ajourien merkitys

Ajouraverkostoa harventamalla voidaan vähentää vaurioita, mutta toisaalta ajokertojen kasvu sekä kasauksen aiheuttamat vauriot vaikuttavat päinvastaisesti. Ajouramäärän lisääminen pienentää puustopääomaa, mutta vähentää vaurioita ja maanpinnan painumista aiheuttavia ajokertoja. Koska enin osa vaurioista syntyy ensimmäisten

ajokertojen aikana, vaikuttaa nykyinen n. 30 m:n uraväli varsin sopivalta, jossa ajokertojen määrä jää pieneksi ja kasaus voidaan suorittaa käsin.

Ajourien leveyteen tulisi kiinnittää huomiota, koska valtaosa vaurioituneista puista on ajouran reunapuita. Vaurioitumisen välttämiseksi ajouralle tulisi jäädä 0,7 metrin välimatka kasvavaan puuhun, koska tätä etäisyyttä pidetään puun vaurioitumisen kannalta merkittävänä (Nilsson ja Hyyppel 1968). Lisäksi suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota ajourien suoruteen, pintamaaston tasaisuuteen ja kantavuuteen sekä sivukaltevuuksiin, jotka kaikki vaikuttavat jäävän puuston vaurioitumiseen sekä koneen tuotokseen.

45. Muita näkökohtia

Vaurioiden vähentämiseen voidaan myös pyrkiä käyttämällä kuljetukseen keveämpiä tai pintapaineeltaan alhaisia koneita. Toisaalta on kuitenkin voitu todeta, että keveämmät koneet ja menetelmät eivät vielä sinänsä merkitse vaurioiden vähenemistä. Lisäksi keveiden koneiden ongelmana on ristiriita ergonomisten ja työn tuottavuusvaatimusten kesken, koska pitkälle ulottuvia kuormaimia on vaikea sijoittaa keveisiin koneisiin, mitä tehostuvat harvennushak-

kuut kuitenkin tänä päivänä vaativat. Tekninen ratkaisu olisikin löydettävä pitkäulotteisten kuormaimien käytössä sekä koneiden pintapaineiden alentamisessa, joissa onkin kokeiltu erilaisia pintamaastoa säästäviä telaratkaisuja.

Havutuksen merkitys vaurioiden ehkäisemisessä on varsin vähäinen, koska koneiden painot ovat niin suuria, että ne vahingoittavat juuria myös havutuksen läpi. Yleisimmin vaurio kohdistuu puun tyveen ja juureniskaan, mihin havutuksella ei voida vaikuttaa. Sen sijaan hakkuutähteillä voidaan vähentää maanpinnan kulumista ajourilla, jolloin niiden saamista urille, käyttämällä sopivaa hakkuutekniikkaa, voidaan pitää hyödyllisenä (Kärkkäinen 1970a).

Traktoreiden ohjausjärjestelmillä on suuri merkitys jäävän puuston vaurioitumiseen. Runko-ohjatuissa koneissa takapyörien oikaisu tulisi välttää sijoittamalla runkonivel akseleiden puoliväliin. Telakoneet soveltuvat olosuhteisiin, joissa ajourat ovat suorina, koska telat rikkovat mutkissa maan pintaa ja juuristoa.

Kuljettajan ammattitaito on hyvin merkittävä vaurioiden vähentäjä. Se korostuu korjattaessa puuta vaikeissa maastoissa, sillä kokenut kuljettaja pystyy hallitsemaan koneen maasto-olosuhteiden mukaan paremmin kuin kokematon kuljettaja (Valonen 1979, Bostrom 1978).

5. TIIVISTELMÄ

Korjuumäärien lisääntyminen, työvoiman niukkuus, ergonomiset vaatimukset sekä harvennuspuun korjuun korkea kustannustaso ovat johtamassa koneellistamisasteen kohottamiseen. Koneiden käytön lisääminen saattaa johtaa kuitenkin myös jäävän puuston lisääntyvään vaurioitumiseen, ellei vauriokysymyksiä oteta jo suunnitteluvaiheessa huomioon. Menetelmiä sovellettaessa tulisi ottaa huomioon entistä enemmän jäävä puusto, jonka terveydentilaan seuraavista hakkuista saatavat tulot perustuvat.

Koneellinen korjuu vaatii eräitä pien-tractorimenetelmiä lukuunottamatta aina avattavaksi kulku-uran koneita varten.

Buchtin (1977) mukaan ajouran avaamisesta johtuvat vaikutukset voidaan jakaa seuraavasti:

- tuottava metsämaa vähenee
- harvennusvaikutus ajouran reunoilla
- valikoivan harvennuksen puustomäärä vähenee
- vaurioriski
- tuulikaato- ja lumivaurioriski
- maanpinnan rikkoutuminen

Ajoura pienentää kasvua sitä voimakkaammin, mitä leveämpi se on. Sen sijaan uravälin suurentamisella voidaan vastaavaa kasvun vähenemistä lieventää (Buchtin 1977). Keskikokoinen metsätraktori vaatii keskimäärin 4,5 m leveän uran, mikä riittää

yleensä myös harvennuksettiin suunnitellulle monitoimikoneelle. Järeitten koneiden tilantarve on oleellisesti suurempi. Esimerkiksi suuren päätehakkuihin suunnitellun prosessorin tilantarve saattaa olla lähes 6 m (B o s t r ö m 1978). Ajouraasteet, sivukaltevuus sekä mutkittelu lisäävät uran leveyttä varsin voimakkaasti.

Koneellisen puunkorjuun vauriot kohdistuvat rungon alaosaan, juurenniskaan ja pintajuuristoon. Juuristovaurioiden syntymiseen vaikuttaa koneiden suuri pintapaine ja pyörien luistaminen. Alle 0,7 m:n päässä rungosta olevat juurivauriot ovat vaarallisia, jolloin koneen kulku-uran tulisi vaurioiden välttämiseksi olla vähintään tällä etäisyydellä kasvavasta puusta. Runkovauriot puolestaan syntyvät pääasiassa perävaunun sekä kuormaimen kolhaisuista.

Puulajeista kuusi vaurioituu herkimmin, minkä lisäksi myös vaara lahottajasiemien iskeytymisestä on suurin juuri kuusella. Laho etenee sitä nopeammin mitä tärkeämpi juuri on vaurioitunut ja mitä lähempänä runkoa vaurio sijaitsee. Alle 2 cm:n paksuisten vaurioituneiden juurten on todettu aiheuttavan ainoastaan sinistymää (N i l s s o n ja H y p p e l 1968).

Korjuuajankohdan merkitys sekä runkotta juurivaurioiden määrään ja laatuun on ilmeinen. Nila-aikana tapahtuvassa korjuussa vauriot ovat selvästi suurempia, lukuisampia sekä infektioherkempiä kuin muina vuodenaikoina (M e n g 1976). Myös puuston ikä vaikuttaa vaurioherkkyyteen, jolloin myöhäisellä iällä suoritettuja kasvatushakkuita ei pidetä kuusivaltaisissa metsiköissä yhtä suotavina kuin nuorien metsien harvennuksia (Harvennuspuun... 1972). Loppusyksy ja alkutalvi ovat roudan ja lumen antaman suojan vuoksi harvennuksettien parasta korjuuaikaa.

Perinteinen ihmistyövaltainen tavaralajimenetelmä aiheuttaa vähemmän vaurioita jäävälle puustolle kuin muut menetelmät. Puista vaurioituu eri selvitysten mukaan 0,5...10 %. Suureen vaihteluun vaikuttavat olosuhteet, suunnittelu ja työn huolellisuus (H a r s t e l a 1978). Suurin osa (90 %) menetelmän vaurioista aiheutuu lähikuljetusvaiheessa. Käytettäessä koneellista kasausta ei ole myöskään voitu havaita suuria eroja vaurioiden määrissä ns. keveiden ja raskaiden menetelmien välillä. Sen

sijaan eroja syntyy vaurioiden laadussa, jolloin keveämissä menetelmissä vauriot ovat useimmiten pinnallisia verrattuna raskaiden koneiden aiheuttamiin syvälle puuaineeseen ulottuviin vaurioihin (H a r s t e l a ja T e r v o 1979).

Monitoimikoneista aiheuttaa suuri prosessori enemmän vaurioita kuin vastaavat harvennushakkuihin suunnitellut koneet. Keskimäärin koneelliset menetelmät vaurioittavat jäävää puustoa hieman yli 10 %. Näissä menetelmissä valtaosa vaurioista aiheutuu kuitenkin jo kasauksen aikana, varsinkin vinnauksen yhteydessä syntyvät tyvivauriot ovat haitallisia (H a r s t e l a 1978, B o s t r ö m 1978).

Pientraktorimenetelmissä jäävän puuston vaurioitumiseen voidaan vaikuttaa valitsemalla ajouran leveys maaston ja puulajin mukaan. Kantavilla mäntymailla voidaan käyttää 2,5 m:n uraa, jolloin vauriomäärät pysyttelevät kohtuullisina. Kuusikoissa uraleveyden tulisi olla kuitenkin vähintään 3 m kuusen vaurioherkkyyden ja juuriston pinnallisuuden vuoksi (T h e s s l u n d 1978).

Vaikka vaurioita syntyy korjuumenetelmistä riippuen runsaastikin, eivät kaikki vauriot johda suoranaisesti taloudellisiin menetyksiin. Tutkimusten mukaan normaaliin verrattava lähikuljetus aiheuttaa 10 vuodessa 5 m³:n suuruisen kasvutappion hehtaaria kohti (K a r d e l l 1978).

Puunkorjuun aiheuttamien vaurioiden vähentämisessä nähdään eräänä keinona suunnittelun sekä hakkuujärjestyksen parantaminen. Suunnittelutyötä voitaisiinkin ehkä tehostaa käyttämällä konemiesten kokemusta apuna, koska heillä selvitysten mukaan on halukkuuttakin tähän työhön (K y t t ä l ä 1979). Hakkuujärjestyksen parantamiseksi tulee lisätä hakkuumiesten kone-tietoutta ja valvontaa, joilla on merkitystä myös koneiden tuloksen parantajana (K y t t ä l ä 1978).

Koneellisen korjuun aiheuttamia vaurioita vähentää myös kuljettajan kokemus ja koulutus (V a l o n e n 1979, B o s t r ö m 1978). Koulutuksen merkitys tulee korostumaan pyrittäessä tehokkaisuuteen työmenetelmiin, jotka takaavat myös jäävän metsikön tuotoskyvyn säilymisen mahdollisimman korkeana.

KIRJALLISUUS

- BJÖRKHEM, U., FRIES, J., HYPPEL, A., LUNDEBERG, G. & SCHOLANDER, J. 1974. Skador genom körning med tunga maskiner i gallringsskog. Summary: Damage by heavy vehicle in thinnings. K. Skogs- o. LantbrAkad. Tidskr. 113(4-5): 304-317.
- BOSTRÖM, C. 1978. Skador i praktiskt utförda gallringar. Skogsarbeten. Preliminär sammanställning. s. 1-18.
- 1979. Profitability of thinning: Short term and long-term profitability. Evaluation of different systems — an attempt at an overall perspective. ILO. Seminar on mechanization and techniques of thinning operations. Nancy 27-31 August. s. 1-18. Nancy.
- BREDBERG, C-J. 1978. Skonsammare terrängmaskin — Projektbeskrivning för ansökan om forskningsmedel. Instn. Skogstek. Skogshögsk. Stencil. s. 1-17.
- BUCHT, S. 1977. Vad kostar strickvägarna i tillväxt? Skogen 64(6):218-222.
- ELOVAINIO, A. 1978. Pientraktoreiden käyttö harvennuspuun korjuussa. Summary: Use of mini-tractors in harvesting thinnings. Metsätehon tied. 331:1-18.
- FRIES, J. 1976. Körskador och produktionsförluster. Summary: Transport damage and yield losses. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 40:1-64.
- HAKKILA, P. & LAIHO, O. 1967. Kuusen lahoaminen kirvesleimasta. Summary: On the decay caused by axe marks in Norway spruce. Commun. Inst. For. Fenn. 64(3):1-34.
- ; KALAJA, H. & SCHILDT, Y. 1976. Bobcat M-721 kaato-kasaukone männikön ensiharvennuksessa. Summary: Bobcat M-721 feller-buncher in early thinnings of Scots Pine. Folia For. 256:1-20.
- HALLONBORG, U. 1979. Spårdjup efter skotare. ForsknStift. Skogsarb. Teknik. 3:1-4.
- HANNELIUS, S. & LILLANDT, M. 1970. Puuston vaurioituminen harvennusleimikoiden koneellisessa korjuussa. Summary: Damaging of stand in mechanized thinning. Helsingin yliopiston metsätieteologian laitos. Tiedonantoja 4:1-32.
- HARSTELA, P. 1978. Harvennuspuun korjuumene-
telmien kehittäminen. Metsä ja Puu (8):11-18.
- & TERVO, L. 1977. Maataloustraktorisoiviteinen vintturi tukkien ja ylijäreiden pöllien sekä LEKA-menotelmällä hakatun puutavaran kasauksessa harvennusolosuhteissa. Metsäntutkimuslaitoksen metsätieteologian tutkimusosaston moniste 3/77: 1-22.
- & TERVO, L. 1979. Ennakkotuloksia esijuontokoneista Punkaharjulla. Julkaisematon käsikirjoitus.
- Harvennuspuun korjuu. 1972. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahaston projekti. 1-155.
- HÄKANSSON, S-G. 1977. Utrymmesbehov för skotare i gallring. Summary: Space requirements for forwarders in thinning. Rapp. Uppsats. Instn. Skogstek. Skogshögsk. 114:1-39.
- ISOMÄKI, A. 1972. Puun korjuun aiheuttamat vauriot harvennusmetsissä. Työtehoseuran metsätiedotus 194:1-2.
- 1977. Förluster som förorsakas virkesproduktionen vid maskinell drivning. Skogsbruket 47(11): 220-223.
- & KALLIO, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce. (*Picea abies* (L.) Karst.) Acta For. Fenn. 136:1-25.
- KALAJA, H. 1978. Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakkurilla. Summary: Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F. Folia For. 374:1-27.
- KALLIO, T. 1978. Rötutveckling efter skador i gran. Esitelmä s. 1-5.
- KARDELL, L. 1978. Traktorskador och tillväxtförluster hos gran — analys av ett 10 årigt försök. Summary: Increment losses of Norway spruce caused by tractor logging. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. Häfte 3:305-321.
- KYTTÄLÄ, T. 1978. Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa. Summary: Aspects of work organizing in logging. Folia For. 361:1-37.
- 1979. Yhteistoiminnan kehittäminen puunkorjuu-organisaatioissa. Julkaisematon käsikirjoitus.
- KÄRKKÄINEN, M. 1970 a. Hakuutähtöiden merkityksestä puuston vaurioitumisen ja raiteen muodostuksen kannalta harvennusmetsissä. Summary: On the significance of waste in thinnings as to scars and tracks. Silva Fenn. 4(2):155-171.
- 1970. Eri traktorityyppien vaikutus puiden vaurioitumiseen harvennuspuun korjuussa. Summary: The effect of different tractor types on the damaging of trees in thinnings. Helsingin yliopiston metsätieteologian laitos. Tiedonantoja 3:1-28.
- 1971. Lahon leviäminen puunkorjuun aiheuttamista kuusen runko- ja juurivaurioista. Summary: Decay following logging injury in stems and roots of Norway spruce. Silva Fenn. 5(3):226-233.
- 1978. Puuston vaurioituminen havennushakkuissa — uskomusten vyyhti. Metsäkoneraakoitsija 9: 16-21.
- NILSSON, P.O. & HYPPEL, A. 1968. Studier över rötangrepp i särskador hos gran. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 8:675-713.
- MELKKO, M. 1979. Varastoivalla kaatolaitteella varustettu kaato-kasaukone Valmet 870 CK. Metsätehon seloste 10:1-11.
- MENG, W. 1978. Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzerte. Ausmass und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 53:1-159.
- MIKKONEN, E. & YLÄ-HEMMILÄ, V. 1977. Makeri kuormatraktori. Metsätehon katsaus 16:1-8.
- 1978. Ösa 705-proessori väljennushakkuissa. Metsätehon seloste 2:1-13.
- OLSSON, M. T. 1977. Körskador i skogsbruket — ett markvårdsproblem. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. Häfte 2-3:233-247.
- PERSSON, P. 1975. Stormskador på skog. Rapp.

- Uppsats., Instn. Skogsprod. Skogshösk. 36: 1—294.
- Suomen ja SEV:in tieteellis-teknisen yhteistyön puitteissa suoritettu harvennuspuun korjuukoe Puolassa ja Itä-Saksassa. Ennakkotuloksia. 1979. Julkaisematon.
- TAIPALE, I. & THESSLUND, O. 1979. Liukupuomikuormaimen vaikutus metsäkuljetustuotokseen harvennusmetsäolosuhteissa. Summary: The effect of the slideboom loader on the forest haulage output in thinnings conditions. Metsätehon tied. 353:1—19.
- THESSLUND, O. 1976. Tutkimus kookkaan kuusitaimiston vaurioitumisesta ylispuiden poistossa. Summary: On damages in young spruce stands due to removal of superior trees. Helsingin yliopiston metsätieteiden tutkimuslaitos. Tiedonantoja 33:1—60.
- 1978. Jäävän puuston vaurioituminen Makeri-pientraktorilla suoritettussa harvennuspuun lähikuljetuksessa. Metsähallitus Kehittämisaosto Koesel. 125:1—6.
- VALONEN, P. 1979. Makeri-pientraktoritutkimustuloksia. Julkaisematon käsikirjoitus.

SUMMARY

Mechanized logging always requires the opening of a strip road of a certain width for the machines, except for some small-tractor methods. The effects of opening the strip road can be broken down in the following way (B u c h t 1977):

- loss of productive forest land
- thinning effect along the sides of the strip road
- loss of growing stock in selective thinning
- risk of damage
- risk of wind and snow damage

Opening the strip road reduces the volume increment of the stand the more markedly the wider the strip road that is made. In contrast, widening the strip-road spacing causes a smaller decrease in volume increment (B u c h t 1977).

A medium-sized forwarder requires a strip road which is 4.5 m wide on average. This width is generally sufficient also for a multi-purpose machine designed for thinnings. The space requirement of large machines may be essentially greater and the space requirement of, say, a large processor designed for final fellings may be almost 6 m. Obstacles on the strip road, cross-fall and a winding course increase the strip-road width considerably. However, it is possible with the help of levellers installed in the machines to reduce the lateral swing due to obstacles and the space requirement.

The damage caused by mechanized logging is mainly to the lower part of the stem, the root collar and the shallow roots. Damage to the root system tends to arise from the heavy ground pressure of the machines, slipping wheels and "aggressive" contact with the soil. The tree species damaged most readily is the spruce; it is also the most susceptible to infection. According to studies published, injuries sustained at a distance of under 1 metre from the stem are the most dangerous for rot fungi. Decay advances faster the more important the root that is damaged and the closer the injury is to the stem. Under 2 cm thick damaged roots cause only blue-stain (N i l s s o n & H y p p e l 1968).

The significance of the harvesting date for the extent and nature of stem and root damage has been proved indisputably. Injuries caused by logging during the time of sap-flow are distinctly greater, more numerous and more infection-prone than damage from logging outside the period of sap-flow (M e n g 1978). The end of autumn and the beginning of winter are in fact the best logging months for thinnings as regards avoidance of damage because of the protection offered by the frozen soil and snow.

Although the damage can be considerable, depending on the logging method, not all injuries lead to direct economic losses. It has been shown that hauling

comparable with the normal causes an increment loss of approx. 5 m³ per hectare, the cycle being ten years (K a r d e l l 1978).

The traditional short-wood method causes fewer injuries to large-sized trees than other methods. The scale of damage has ranged from 0.5 to 9.8 % according to different investigations. The great variation is probably due to the variation in conditions, planning of the work site and carefulness of the work. Most (90 %) of the damage caused by the method arises in fact from hauling which can be influenced by improving the planning. When the preliminary skidding method is used, no great differences have been observed in the incidence of damage between the so-called light and heavy methods. On the other hand, the nature of the injuries has differed: the damage in the lighter methods is mostly local compared with the damage caused by heavy machines which reaches deep down into the wood. Of multi-purpose machines, the large processor causes more damage than corresponding machines designed for thinnings. Mechanized methods damage the residual growing stock slightly over 10 % on average. However, the majority of the injuries in these methods are caused in the bunching phase already, and especially the butt damage that arises from winching is very harmful. Damage to the residual growing stock can be influenced in the small-tractor methods by choosing the strip road width in accordance with the terrain and the tree species. A strip road of approx. 2.5 m can be used on firm pine soils, and then the damage is moderate. In spruce stands, again, the strip road width should be at least 3 m because of the proneness of spruce to damage and the shallowness of the root system.

It is probably impossible to obviate damage completely, but it should definitely be less than 10 %. This can surely be achieved by paying greater attention to, e.g., the following points which have been found to reduce damage to the residual growing stock:

- improved planning
- improved quality of cutting
- postponement of logging to the late autumn and early winter months
- planning the strip roads in conformity with the properties and width of the machine
- using machines with low ground pressure and good manoeuvrability
- using an experienced and trained machine operator

ODC 461
ISBN 951-40-0444-2
ISSN 0015-5543

KYTTÄLÄ, T. 1980. Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu. Summary: Stand damage during thinnings. — Literature review. *Folia For.* 431:1—20.

Strip road of a certain width almost have to be made in connection with mechanical logging. Strip road increase thinning intensity and machines using the strip roads damage the remaining trees and terrain. It is evident that stand damage and resulting stem and root rot is more common when logging is carried out at the time of year when the sap is flowing. Normal hauling causes production loss of approx. 5 m³/ha the cycle being ten years. Damage to the growing stock also can be reduced by improving planning and by carrying out hauling during early winter when the ground is already frozen.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 461
ISBN 951-40-0444-2
ISSN 0015-5543

KYTTÄLÄ, T. 1980. Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu. Summary: Stand damage during thinnings. — Literature review. *Folia For.* 431:1—20.

Strip road of a certain width almost have to be made in connection with mechanical logging. Strip road increase thinning intensity and machines using the strip roads damage the remaining trees and terrain. It is evident that stand damage and resulting stem and root rot is more common when logging is carried out at the time of year when the sap is flowing. Normal hauling causes production loss of approx. 5 m³/ha the cycle being ten years. Damage to the growing stock also can be reduced by improving planning and by carrying out hauling during early winter when the ground is already frozen.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 461
ISBN 951-40-0444-2
ISSN 0015-5543

KYTTÄLÄ, T. 1980. Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu. Summary: Stand damage during thinnings. — Literature review. *Folia For.* 431:1—20.

Strip road of a certain width almost have to be made in connection with mechanical logging. Strip road increase thinning intensity and machines using the strip roads damage the remaining trees and terrain. It is evident that stand damage and resulting stem and root rot is more common when logging is carried out at the time of year when the sap is flowing. Normal hauling causes production loss of approx. 5 m³/ha the cycle being ten years. Damage to the growing stock also can be reduced by improving planning and by carrying out hauling during early winter when the ground is already frozen.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

ODC 461
ISBN 951-40-0444-2
ISSN 0015-5543

KYTTÄLÄ, T. 1980. Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu. Summary: Stand damage during thinnings. — Literature review. *Folia For.* 431:1—20.

Strip road of a certain width almost have to be made in connection with mechanical logging. Strip road increase thinning intensity and machines using the strip roads damage the remaining trees and terrain. It is evident that stand damage and resulting stem and root rot is more common when logging is carried out at the time of year when the sap is flowing. Normal hauling causes production loss of approx. 5 m³/ha the cycle being ten years. Damage to the growing stock also can be reduced by improving planning and by carrying out hauling during early winter when the ground is already frozen.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

- Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat.
- No 391 Valtonen, Kari: Loppukäyttötiedot saha- ja puulevyteollisuuden markkinoinnissa. End-use information for marketing in sawmill and wood-based panel industries.
- No 392 Isomäki, Antti: Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon. The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand.
- No 393 Kurkela, Timo: *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* -sienen esiintyminen männyn karisteen yhteydessä. Association of *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* with a needle cast epidemic on Scots pine.
- No 394 Rikala, Risto: Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla. The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery.
- No 395 Löytyniemi, Kari, Austarä, Øystein, Bejer, Broder & Ehnström, Bengt: Insect pests in forests of the Nordic Countries 1972—1976. Tuhohyönteisten esiintyminen Pohjoismaiden metsissä 1972—1976.
- No 396 Silfverberg, Klaus: Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan booripuutosalueella. Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland.
- No 397 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1976 (1964—1973). Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1976 (1964—1973) by districts.
- No 398 Lehto, Jaakko: Metsäalan koulutus metsäalan organisaatioiden arvioimana. Forest education evaluated by forestry organizations.
- No 399 Jokinen, Katriina & Tamminen, Pekka: Tyvilahoisten kuusikoiden jälkeen istutetuissa männyn taimistoissa esiintyvät sienituhot Keski-Satakunnassa. Fungal damage in young Scots pine stands replacing butt rot-infected Norway spruce stands in SW Finland.
- No 400 Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsäntutkimuslaitoksen metsänlannoitustutkimuksen seminaari 15. 2. 1979. Results and tasks in forest fertilization research. Proceedings of the Finnish Forest Research Institute symposium on forest fertilization research 15. 2. 1979.
- No 401 Mielikäinen, Kari: Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon. The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand.
- No 402 Sepponen, Pentti, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland.
- No 403 Kanninen, Kaija, Uusvaara, Olli & Valonen, Paavo: Kokopuuraaka-aineen mittausta ja ominaisuudet. Measuring and properties of whole tree raw-material.
- No 404 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas.
- No 405 Sepponen, Pentti & Haapala, Heikki: Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin. On the effect of drainage on the chemical properties of peat.
- No 406 Elovirta, Pertti: Metsätyövoiman allappisyvyys 1969—1977. Permanence of forest labour in Finland 1969—1977.
- No 407 Tiuhonen, Paavo: Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella. Variation in tree growth in Finland based on the 6th National Forest Inventory.
- No 408 Lilja, Arja: Koivun siemenen sienet ja niiden patogeenisuus. Fungi on birch seeds and their pathogenicity.
- No 409 Kallio, Tauno & Häkkinen, Risto: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja *Phlebia gigantean* (Fr.) Donk vaikutus pellolle istutettujen kuusen, männyn, tervalepän ja rauduskoivun taimien pituuskasvuun ja elossapysymiseen. Effect of *Heterobasidion annosum* and *Phlebia gigantea* infection on the height growth and survival rate of *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Alnus glutinosa* and *Betula pendula* seedlings planted on old fields.
- No 410 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuun kiintomittaus kourakasoissa. Measurement of solid volume of pulpwood grapple heaps.
- No 411 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1977—79. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1977—79.
- No 412 Raitio, Hannu: Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopelolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms.
- No 413 Kellomäki, Seppo & Salmi, Juhani: Koivuvaneritukki kuoren määrä. Bark quantity of birch logs.

- No 414 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results.
- No 415 Teivainen, Terttu: Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus peltomyyrälle (*Microtus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan. Palatability of some cultivated willows to field voles (*Microtus agrestis* L.) in feeding trials.
- No 416 Velling, Pirkko: Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa. Wood density in two *Betula pendula* Roth progeny trials.
- No 417 Mattila, Eero: Kangasmaiden luppometsien ominaisuuksia Suomen poronhoitoalueella 1976—1978. Characteristics of the mineral soil forests with arboreal lichens (*Alectoria*, *Bryoria* and *Usnea* spp.) in the Finnish reindeer management area, 1976—1978.
- 1980 No 418 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Harvesting fuel chips with the Pallari swath harvester. Polttopuun korjuu Pallarin leikkuuhakkurilla.
- No 419 Kinnunen, Kaarlo & Lemmetyinen, Markku: Paakkukoon vaikutus männyn taimien alkukehitykseen. Initial development of containerized pine seedlings as affected by the size of earth ball.
- No 420 Keipi, Kari & Laakkonen, Olavi: Päätehakkuuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja. Profitability comparisons of urea fertilization in old stands.
- No 421 Lipas, Erkki & Levula, Teuvo: Urealannoitus eri vuodenaikoina. Urea fertilization at different times of the year.
- No 422 Weissenberg, Kim, von & Kurkela, Timo (Eds.): Proceedings of the meeting of the IUFRO Working Party S2.05—05, Resistance in pines to *Melampsora pinitorqua*, June 1979, Suonenjoki, Finland. IUFRO:n työryhmän S2.05—05, Versuosteenkestävyys männnyssä, kesäkuussa 1979 Suonenjoella pidetyn kokouksen esitelmät.
- No 423 Kylmänen, Pekka: Ennakkotuloksia nuorissa männyn siemenviljelyksissä syntyvän Pohjois-Suomi x Etelä-Suomi -kaukoristeytyssemenen käyttömahdollisuuksista. Preliminary results concerning usability of North Finland x South Finland hybrid seed born in young Scots pine seed orchards.
- No 424 Sievänen, Risto: A preliminary simulation model for annual photosynthetic production and growth in a short rotation plantation. Alustava lyhytkiertoviljelmän vuotuisen fotosynteesin tuotoksen ja kasvun simulointimalli.
- No 425 Kohmo, Ilkka: Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971—1976. Increment percentage of forest stands in Finland 1971—1976.
- No 426 Rautiainen, Olavi & Räsänen, Pentti K.: Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976. Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976.
- No 427 Tiuhonen, Paavo: ATK-karttamenetelmän kokeilu työkohteiden etsinnässä Pohjois-Savossa 1976—1978. Experimenting with the ADP-map method for locating working sites in northern Savo, East Finland, 1976—1978.
- No 428 Ryyänen, Leena: Männyn siemenen varastointi ja vanheneminen. Storage of Scots pine seed and seed ageing.
- No 429 Raivonen, Marjut & Leikola, Matti: Hakkuutähteiden poistamisen vaikutus istutettujen kuusen taimien alkukehitykseen. The influence of the removal of logging waste on the initial development of planted Norway spruce seedlings.
- No 430 Metsätilastollinen vuosikirja 1979. Yearbook of Forest Statistics 1979.
- No 431 Kyttälä, Timo: Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu. Stand damage during thinnings. — Literature review.
- No 432 Silfverberg, Klaus: Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Micronutritional growth disorder in Norway spruce.
- No 433 Hakkila, Pentti & Wójcik, Tomasz: Thinning young pine stands with the Makeri. The Finnish forest sector at the cross road. Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa. tractor in Poland. Próba zastosowania ciągnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych w Polsce.
- No 434 Seppälä, Heikki, Kuuluvainen, Jari & Seppälä, Risto: Suomen metsäsektori tienhaarassa. Tutkimus Suomen metsäsektorin kehityksestä ja tulevaisuuden vaihtoehdoista.

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 17 341. Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää.