

FOLIA FORESTALIA 548

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1983

VESA IMPONEN JA MATTI SIRÉN

KAATOTAVAN VAIKUTUS KUORMAIN-
PROSESSORIN TUOTTAVUUTEEN

THE INFLUENCE OF THE FELLING
METHOD ON THE PERFORMANCE OF
A GRAPPLE LOADER PROCESSOR



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 548

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1983

Vesa Imponen ja Matti Sirén

KAATOTAVAN VAIKUTUS KUORMAINPROSESSORIN TUOTTAVUUTEEN

The influence of the felling method on the performance
of a grapple loader processor

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSAINEISTO	3
3. KAATOMENETELMÄT JA TUTKITTU KONE	4
4. KAATOTAVAN VAIKUTUS KUORMAINPROSESSORIN TUOTTAVUUTEEN	5
41. Puun käsittelyaika	5
42. Tuotos	9
5. PUUSTON VAURIOITUMINEN	10
51. Tutkimusmenetelmä	10
52. Vaurioiden määrä, koko, laatu ja sijainti	10
53. Vaurioitumisen syyt	11
6. TULOSTEN TARKASTELU	11
KIRJALLISUUS	13
SUMMARY	14

IMPONEN, V. & SIRÉN, M. 1983. Kaatotavan vaikutus kuormainproessorin tuottavuuteen. Summary: The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor. *Folia For.* 548:1—14.

Tutkimuksessa on selvitetty kaatotavan vaikutusta kuormainproessorin tuottavuuteen ja puuston vaurioitumiseen korjuussa. Tutkimusaineisto kerättiin Jämsänkoskella maaliskuussa 1982. Tutkimusleimikko oli n. 60-vuotias hyväkasvuinen harvennuskuusikko, jonka puusto ennen hakkuuta oli 240 m³/ha. Puutavara valmistettiin 4—6 metriseksi kuitupuuksi. Tutkitut kaatotavat olivat latva-tyvikaato, uralle kaato ja ryväskaato.

Kaatotavan vaikutus kuormainproessorin tuotokseen oli vähäinen. Latva-tyvikaadon jälkeen puun siirtäminen sekä karsinta ja katkenta veivät vähemmän aikaa kuin muilla kaatomenetelmillä. Kuormainproessorin joustavan toimintaperiaatteen vuoksi tuottavuus oli melkoisen riippumaton kaatomenetelmästä. Tämä pätee kuitenkin vain tehtäessä vapaanpituista puutavaraa, jolloin puut voidaan käsitellä myös latva edellä. Kun valmistetaan määrämittaista puutavaraa, näyttää latva-tyvikaato olevan edullisin.

Tutkimusleimikolla vaurioitui keskimäärin 6,0 % jäävästä puustosta. Vaurioista oli 5,2 % kuormainproessorin ja 0,8 % kuormatraktorin aiheuttamia. Eri kaatotavoilla vaurioprocentit vaihtelivat jonkin verran. Eniten vaurioita oli syntynyt latva-tyvikaadossa, jossa vaurioprocentti oli 8,6. Ryväskaadossa vaurioprocentti oli keskimäärin 5,4 ja uralle kaadossa 4,9.

Yli 70 % vaurioista oli kaikilla kaatotavoilla pinta-vaurioita. Kuljettajan huolimattomuus oli yleisin syy vaurioitumiseen. Kone-elimistä eniten vaurioita oli aiheuttanut prosessoriosa, mutta myös käsiteltävä puu aiheutti paljon vaurioita.

Uralle kaato osoittautui tutkimuksessa parhaaksi kaatotavaksi vaurioitumista ajatellen. Tämä johtunee siitä, että puun siirtelytarve on uralle kaadossa pieni tehtäessä vapaanpituista puutavaraa. Tehtäessä määrämittaista puutavaraa on latva-tyvikaato todennäköisesti edullisin kaatotapa myös vaurioitumista ajatellen.

The influence of the felling method on the performance of and the damage caused by a grapple loader processor were studied. The material was collected in Jämsänkoski in March 1982. The stand was a 60-year old spruce stand and the stand volume density before cutting was about 240 m³/ha. The timber was processed into 4—6 m pulpwood. The felling methods studied were top-butt felling, felling towards the strip road and modified directional felling.

The influence of the felling method on the performance of the grapple loader processor was small. With top-butt felling, movement of the tree, limbing and bucking took less time than with the other felling methods. The performance of the grapple loader processor seemed to be very independent of the felling method due to the flexible way in which it works. This is true only for processing timber of free length as the trees can be processed also the top first. When processing timber or pulpwood which needs measuring, the top-butt method seems to be the best.

The average damage percentage was 6.0. For the processor the damage percentage was 5.2 on average and 0.8 for the forwarder.

The damage percentage varied with the different felling methods. The most damage was caused when using the top-butt method, 8.6 %. With the modified directional felling method the damage percentage was 5.4 and with felling towards the strip road 4.9.

Over 70 % of the damage was superficial with all three felling methods. The driver's carelessness was the commonest cause of the damage. The processor device was the machine part which caused the most damage, but considerable damage was also caused during the processing of the tree. Felling towards the strip road seemed to be the best method as regards damage. This may be because there is least need to move the tree with this method when processing timber of free length. When measuring is required, top-butt felling seems to be the best method as regards damage.

ODC 323.13+35+462
ISBN 951-40-0606-2
ISSN 0015-5543

Helsinki 1983. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Harvennushakkuiden koneellistaminen on yksi puunkorjuun suurista ongelmista. Koneellistamista vaikeuttavat sekä alhaisesta hakkuukertymästä johtuvat korkeat kustannukset että koneiden kasvatettavalle puustolle aiheuttamat vauriot.

Uusi ratkaisu on kuormainprosessoriin perustuva harvennuspuun korjuuketju. Kuormainprosessori soveltuu sekä avohakuiisiin että harvennuksiin. Haittana voidaan pitää korjuussa jäävälle puustolle melko runsaasti syntyviä vaurioita, vaikka monitoimikoneharvennuksissa ongelmallinen pitkän puun siirtely onkin kuormainprosessorilla perinteisiä monitoimikoneita vähäisempää.

Kuormainprosessori on saavuttanut vanhan jalansijan Suomessa. Tärkeä tekijä kuormainprosessorin työskentelyä ajatellen on puiden kaato koneelle. Kaatotavan avullaan vaikuttavan paitsi koneen tuotokseen myös puitten vaurioitumiseen.

Näin päädyttiin tutkimaan kolmea käytössä olevaa kaatomenetelmää, niiden vaikutusta tuotokseen ja korjuuvaurioita eri menetelmillä.

Tutkimusaineisto kerättiin Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n työmaalla Jämsänkoskella. Aineiston keruuseen osallistuivat metsätöyönjohtaja Jussi Korhonen ja tutkimusapulainen Urpo Paananen. Tutkimuksen kannalta korvaamatonta apua antoivat piirimetsänhoitaja Osmo Räisänen ja metsäteknikot Risto Seppänen ja Pekka Liimatainen Yhtyneet Paperitehtaat Oy:stä. Urakoitsija Yrjö Laukkalan ammattitaito auttoi suuresti tutkimuksen läpivientiä. Tutkimusaineiston atk-käsittelystä vastasi Hannu Aaltio ja konekirjoituksesta rva Aune Rytkönen. Englanninkielisen tekstin tarkasti L. A. Keyworth. Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja tutkimuksen eri vaiheissa arvokkaita neuvoja antaneet prof. Pentti Hakkila ja tutkimusaseman johtaja Pertti Harstela. Kaikille edellä mainituille haluamme esittää lämpimät kiitoksemme.

Tekijöiden kesken työ jakautui siten, että tutkimuksen suunnittelivat ja kenttätöitä johtivat Imponen ja Sirén yhdessä. Julkaisusta Imponen kirjoitti tuotosta koskevat osat ja Sirén aineistoa, menetelmää ja puuston vaurioitumista koskevat osat.

2. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusleimikko oli noin 60-vuotias erittäin hyväkasvuinen kuusikko. Metsätyypiltään leimikko oli paikoitellen OMT:tä, enimmäkseen kuitenkin MT:tä. Leimikko sijaitsi loivahkossa rinteessä, johon ajourat oli oikeaoppisesti suunniteltu kohtisuoraan rinnettä vasten. Ajourien suuntainen kaltevuus vaihteli 9–25° keskiarvon ollessa 16°. Joissakin kohdissa kaltevuus yhdessä lumen kanssa aiheutti koneen kiinnijuuuttumista. Leimikon maastoluokka oli 2 ja oksaisuusluokka 4. Leimikko oli kuusivaltainen. Kuusen osuus oli 87 % lopun ollessa pääosin koivua. Puutavara valmistettiin 3–6 m rangaksi, tukkeja ei tehty eikä täten mittaus-takaan tarvittu.

Taulukossa 1 on tietoja puustosta ja hakatusta puumäärästä. Tiedot on esitetty kaatotavoittain, sillä vaikka olosuhteet pyrittiin saamaan mahdollisimman tasaisiksi eri kaatotavoilla, vaihtelua metsämaastossa paikostakin esiintyy.

Leimikolta mitattiin myös tutkitut eri kaatotapojen edustamat pinta-alat, ajouramäärät, ajouraleveydet ja ajouravälit. Tiedot on esitetty kaatotavoittain taulukossa 2.

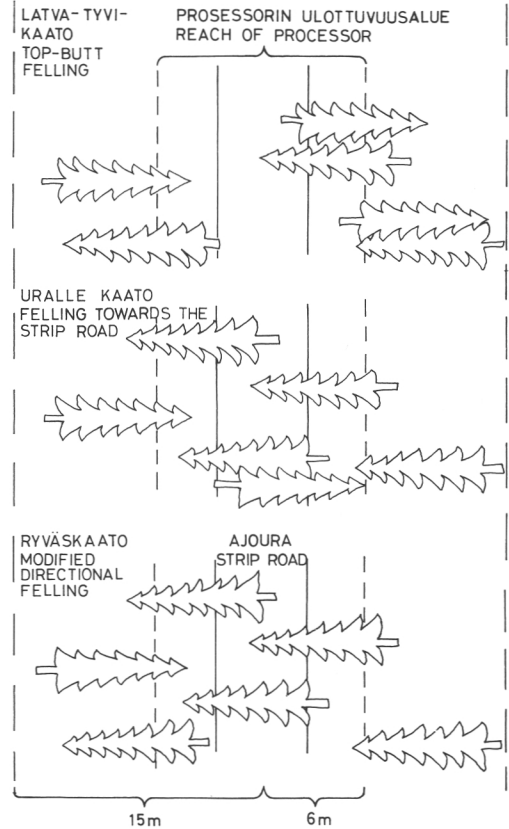
Tutkimus tehtiin maaliskuun alussa. Lunta oli keskimäärin 60 cm. Runsaas lumi haittasi erityisesti kaatomiesten työskentelyä. Puissa paikoin ollut tykky vaikeutti jonkin verran suunnattua kaatoa.

Taulukko 1. Tutkimusleimikoitten puusto.
Table 1. Tree stand data in the studied stands.

	Kaatotapa — Felling method		
	Ryväskaato Modified directional felling	Uralle kaato Felling towards the strip road	Latva-tyvikaato Top-butt felling
PUUSTO ENNEN HAKKUUTA TREE STAND BEFORE CUTTING			
m ³ /ha	245,0	251,2	235,6
runkoa/ha stems/ha	729	731	850
HAKATTU PUUSTO TREES CUT			
m ³ /ha	53,4	54,9	60,1
runkoa/ha stems/ha	364	318	450
m ³ /100 m uraa m ³ /100 m strip road	14,7	14,9	16,1
runkoa/100 m uraa stems/100 m strip road	100	86	120
Rungon keskikoko, dm ³ Mean size of stems, dm ³	147	173	134
Puita, kpl/ työpiste Trees/ work point	2,4	2,5	2,7
Siirtymismatka, m/ työpiste Moving distance, m/ work point	2,4	2,9	2,2
Käsiteltyjä puita, kpl Number of processed trees	388	347	297
PUUSTO HAKKUUN JÄLKEEN TREE STAND AFTER FELLING			
m ³ /ha	191,6	196,3	174,5
runkoa/ha stems/ha	365	413	400

Taulukko 2. Tutkimusleimikon rakenne.
Table 2. Description of studied site.

Kaatotapa Felling method	Pinta-ala, ha Area, ha	Ajouraa, m/ha Strip roads, m/ha	Uraleveys, m Strip road width, m	Uraväli, m Distance between strip roads, m
Ryväskaato Modified direc- tional felling	1,06	363	5,05	27,50
Uralle kaato Felling towards the strip road	1,09	368	5,50	27,20
Latva-tyvikaato Top-butt felling	0,66	374	5,20	26,70



Kuva 1. Tutkitut kaatomenetelmät.
Fig. 1. The felling methods studied.

3. KAATOMENETELMÄT JA TUTKITTU KONE

Tutkimuksessa selvitetiin tuotosta ja korjuuvaurioita kolmea kaatotapaa käytettäessä. Tutkitut kaatomenetelmät olivat latva-tyvikaato, uralle kaato ja ryväskaato. Kaatotavat on esitetty kuvassa 1.

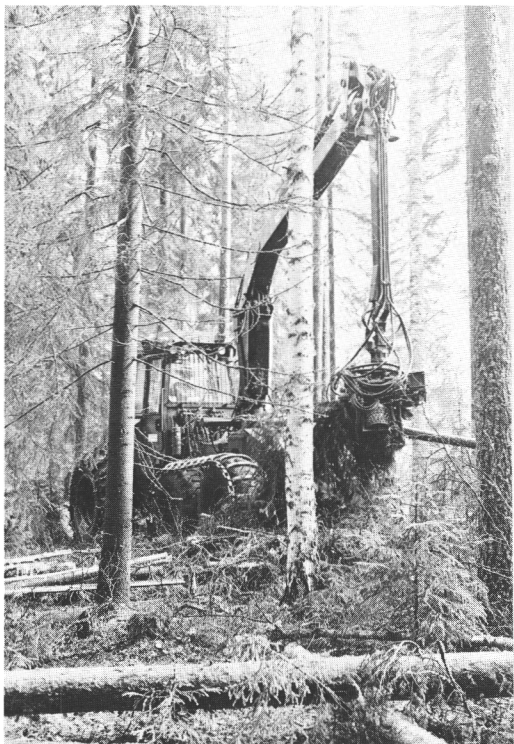
Latva-tyvikaadossa kaadetaan uralla ja kuormaimen ulottuvilla olevat puut uralta pois päin. Kuormaimen toimintasäteen ulkopuolella olevat puut kaadetaan uralle päin.

Uralle kaadossa kaadetaan kaikki puut, myös uran

vierellä olevat, uraa kohti.

Ryväskaadossa voidaan kuormaimen ulottuvuusalueella olevien puiden kaatosuuntaa vaihdella tilanteen mukaan. Jos uralla olevat puut on kaadettu esim. vasemmalle, kaatosuunnan puolella kuormaimen ulottuvilla olevat puut kaadetaan uralta pois päin, ja ajo-uran oikealla puolella olevat puut kaadetaan kaikki kohti uraa.

Kaato tehtiin miestyönä. Vaikka kaatotavat teorias-



Kuva 2. Kuormainprosessori työskentelee harvennusmetsässä.

Fig. 2. A grapple loader processor works in the thinning stand.

sa näyttävätkin selkeiltä, ei niitä käytännössä voida orjallisesti noudattaa, vaan kaato on tehtävä metsikön rakenteen sallimissa puitteissa. Tärkeintä kaadossa on se, että kaikki kaadetut puut ovat koneen ulottuvilla. Kaatotyötä ei tässä selvityksessä tutkittu, koska työn suoritti kolme metsuria, joille kaikille harvennusmetsässä tehtävä erilliskaato oli uutta. Työ pyrittiin kokeen vuoksi tekemään myös normaalia huolellisemmin, jotta mahdolliset erot kaatotapojen välillä tulisivat näkyviin.

Aikatutkimus tehtiin nolla-asento- eli palautusmenetelmällä. Päättyöaika jaettiin seuraaviin työnvaiheisiin:

Puun käsittely

1. Monitoimiosan siirto ja tarttuminen puuhun
2. Monitoimiosan siirto puun kanssa
3. Karsinta ja katkonta
4. Hakkuutähteiden poisto
5. Puiden järjestely
6. Puutavaran järjestely

Siirtyminen työpisteiden välillä

Tutkimuksessa käytetyt aikakäsitteet ovat pääosin Pohjoismaiden Metsätyöntutkimusneuvoston sanastokomitean esityksen mukaisia. Puun käsittelyn ja sen työnvaiheiden keskimääräiset ajanmenekit laskettiin rinnankorkeusläpimittaluokittain. Prosessorin tuotos ilmoitetaan rungon käyttöosan tilavuuden funktiona.

Tutkittu kone oli Volvo BM Valmet 450 kuormainprosessori. Monitoimiosa oli asennettu käytetyn Valmet 882 K-kuormatraktoriin, jonka runkoa oli lyhennetty 130 cm. Kuormaimena oli Cranab 9015, jonka nimellisulottuvuus oli 6,75 m ja ulottuvuus maanpinnan tasossa 6,00 m. Kone oli yksityisen koneyhtymän omistama. Konetta ajanut urakoitsija Yrjö Klaukkala oli ammattitaitoinen, ja kone toimi tutkimuksen aikana moitteettomasti. Kuvassa 2 kuormainprosessori työskentelee harvennusmetsässä.

4. KAAOTAVAN VAIKUTUS KUORMAINPROSESSORIN TUOTTAVUUTEEN

41. Puun käsittelyaika

Puukohtaisen tehoajan jakaantuminen eri työvaiheisiin ja siirtymiseen on esitetty taulukossa 3. Puuhun tarttumiseen kului ryväskaadon jälkeen enemmän aikaa kuin muita kaatotapoja käytettäessä. Monitoimiosan siirto puun kanssa vei vähiten aikaa latvavyikaatourilla. Karsinta—katkonta—vaiheen ajanmenekki oli suurin uralle kaadon jälkeen.

Korjuuolosuhteet koeleimikon eri kaatotapoja edustavilla lohkoilla vaihtelivat jonkin verran, ja tämän vuoksi keskimääräiset puukohtaiset työvaiheiden ajanmenekit eivät ole täysin vertailukelpoisia. Runkojen kokojakauma on korjuuteknisistä olosuhdetekijöistä tärkein. Kaatotavoittaisten aineis-

tojen pohjalta tarkasteltiin puun käsittelyajan riippuvuutta rungon koosta. Regressioyhtälöt olivat seuraavat:

	Selitysaste
$y_1 = 46,65 + 138,75 x^2$	0,210
$y_2 = 45,42 + 171,66 x^2$	0,321
$y_3 = 41,60 + 223,35 x^2$	0,293

y_n = käsittelyaika, cmin/puu

n = kaatotapa, 1 = ryväskaato, 2 = uralle kaato, 3 = latva-tyvikaato

x = rungon käyttöosan tilavuus, m³

Rungoittainen käsittelyaika koostui puuhun tarttumisesta, monitoimiosan siirrosta puun kanssa sekä karsinnasta ja katkonnasta. Ajanmenekkilukujen vertailukelpoisuut-

Taulukko 3. Kuormainprossessorin tehoajan jakautuminen.

Table 3. Distribution of effective time with a grapple loader processor.

Työvaihe Work element	Ryväskaato Modified directional felling	Uralle kaato Felling towards the strip road	Latva-tyvikaato Top-butt felling
	cmin/puu — cmin/tree		
Monitoimiosan siirto ja tarttuminen puuhun Moving processor device and grasping	15,7	14,4	14,2
Monitoimiosan siirto puun kanssa Moving processor device with tree	11,8	12,7	10,0
Karsinta ja katkenta Limbing and bucking	24,8	27,4	24,7
Hakkuutähteiden poisto Removal of logging waste	1,3	1,5	0,8
Puiden järjestely Stacking trees	—	0,3	—
Puutavaran järjestely Stacking cut logs in pile	0,4	0,6	0,6
Siirtyminen Moving	15,0	16,3	11,4
Tehoika yhteensä Total effective time	69,0	73,2	61,7

ta parannettiin siten, että eri kaatomenetelmien jälkeistä puukohtaista aikaa selittävien regressioyhtälöiden ja koko leimikkoa edustavan runkolukusarjan avulla vakioitiin rungon kokojakauman vaikutus keskimääräiseen ajanmenekkiin. Tällä tavoin tasoitettuihin tuloksiin lisättiin järjestelyn ym. osuutena 1,5 cmin/puu, jolloin rungon keskikokoa 0,152 m³ vastaavat puukohtaiset käsittelyajat muodostuivat seuraaviksi:

	cmin/puu
Ryväskaato	54,1
Uralle kaato	54,3
Latva-tyvikaato	52,7

Latva edellä käsittely lisäsi puukohtaista ajanmenekkiä 7—19 %. Kaatotavalla ei ollut kuitenkaan suurta vaikutusta syöttösuuntien osuuksiin (taulukko 4). Ajouran päälle kaadettujen puiden käsittely aloitettiin usein tyven ja latvan väliltä. Tällöin rungon tyviosa karsittiin yleensä ensin, jonka jälkeen syöttösuuntaa vaihdettiin. Aineistoa kerätessä nämä puut luokiteltiin pääkäsittelysuunnan mukaisesti, mikä osaltaan vaikuttaa taulukossa esitettyihin jakaumiin.

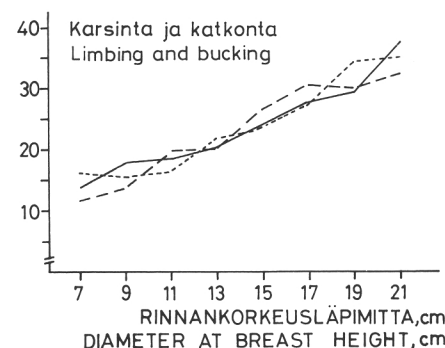
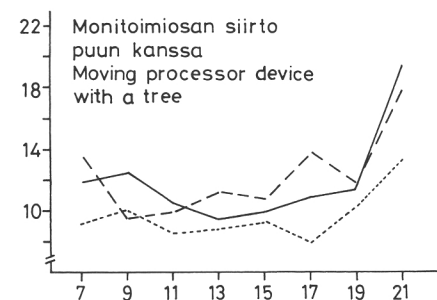
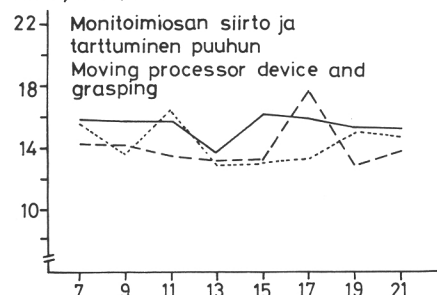
Kuvassa 3 on havainnollistettu kaatotavoittain puun käsittelyajan riippuvuutta rungon koosta. Kaatotavan vaikutus työvaiheiden ajanmenekkiin oli vähäinen. Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero kaatotapojen välillä havaittiin puun siirtämisen ajan-

Taulukko 4. Runkojen käsittelysuunnat.

Table 4. Processing positions of trees.

Käsittelysuunta Processing position	Ryväskaato Modified directional felling	Uralle kaato Felling towards the strip road	Latva-tyvikaato Top-butt felling
	Osuus runkoluvusta, % — Proportion of stem number, %		
Tyvi edellä Butt first	53	56	58
Latva edellä Top first	47	44	42
Yhteensä Total	100	100	100

AIKA, cmin/puu
TIME, cmin/tree



— Ryväskaato—Modified directional felling
--- Uralle kaato—Felling towards the strip road
..... Latva-tyvikaato—Top-butt felling

Kuva 3. Työvaiheiden ajanmenekit rinnankorkeusläpimitasta riippuen.

Fig. 3. Time consumption of work elements as a function of diameter at breast height.

menekeissä, sillä uralle kaadon jälkeen monitoimiosan siirto puun kanssa vei selvästi enemmän aikaa kuin latva-tyvikaatoa edustavilla ajourilla. Puun käsittelyn kokonaisajanmenekeissä tilastollisesti merkittäviä eroja ei todettu.

Kun puukohtaista käsittelyaikaa tarkasteltiin valikoivalla regressioanalyysillä, kaatotapaa ei saatu tilastollisesti merkittäväksi selittäjäksi. Rungon käyttöosan tilavuus ja tartuntakohdan etäisyys ajouran keskeltä vaikuttivat ajanmenekkiin eniten. Regressioyhtälö sai seuraavan muodon:

$$y = 40,00 + 223,84x_1^{2***} + 1,29x_2^{2***} - 4,53x_2^{***} + 32,30x_1x_3^{***} + 0,78x_2x_3^*$$

Selitysaste = 0,293

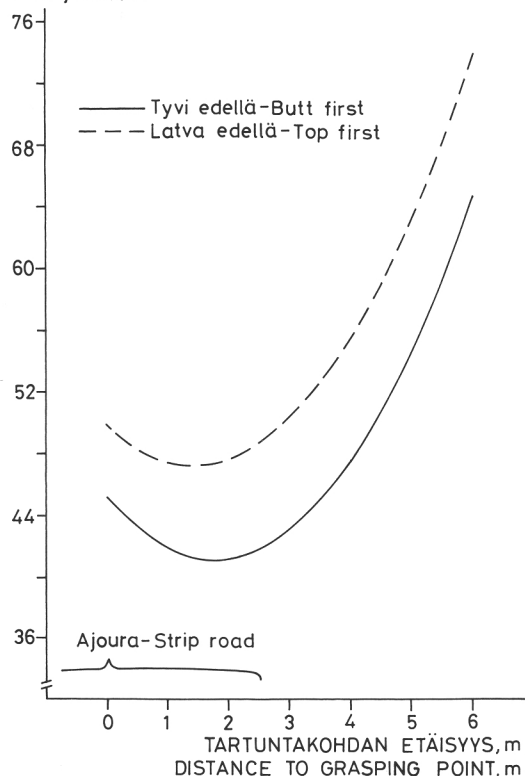
y = käsittelyaika (siirtyminen ei ole mukana), cmin/puu

x_1 = rungon käyttöosan tilavuus, m^3

x_2 = tartuntakohdan etäisyys ajouran keskeltä, m

x_3 = käsittelysuunta, tyvi edellä = 0, latva edellä = 1

AIKA, cmin/puu
TIME, cmin/tree



Kuva 4. Puun käsittelyajan riippuvuus tartuntaetäisyydestä. Rungon koko 0,150 m^3 .

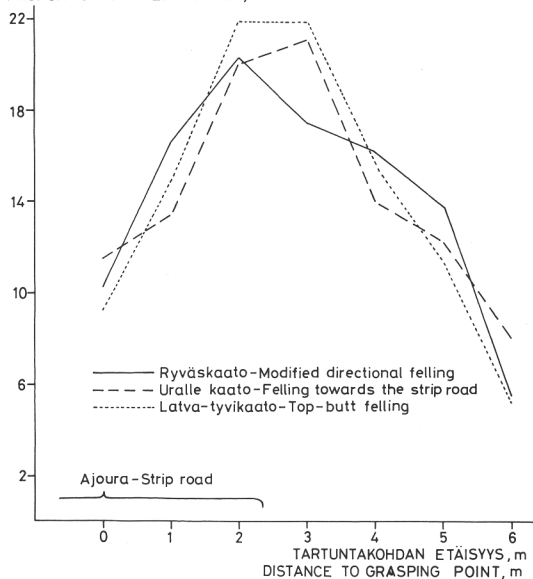
Fig. 4. Dependence of processing time on grasping distance. Stem volume 0,150 m^3 .

Regressioanalyysin perusteella voitiin päätellä, että puun käsittely oli nopeinta, kun tartuntakohta oli rungon tyvipäässä ja 1,5—2 metrin etäisyydellä ajouran keskeltä (kuva 4). Tulos on kuormainproessorin toimintaperiaatteen pohjalta looginen.

Kuormainproessorilla työskenneltäessä rungot pölkytetään kasoihin ajouran reunaan siten, että pölkyjen päät tulevat noin 2 metrin etäisyydelle uran keskeltä. Kun rungosta saatava viimeinen puutavarakappale on valmistettu, monitoimiosa on kasan pään kohdalla. Seuraavan puun ottamiseen kuluva aika riippuu siitä, kuinka etäällä mahdollinen tartuntakohta on tästä pisteestä. Mitä pitemmälle jäävän puuston sekaan monitoimiosa joudutaan siirtämään, sitä enemmän puun poimiminen vie aikaa. Kun mahdollinen tartuntakohta on koneen edessä ajouralla, hakkuutähteet ja kuormaimen jalustan aiheuttama näkyvyyden heikentyminen hidastavat työskentelyä. Puun jatkokäsittely on taas joustavinta, kun runkoon on mahdollista tarttua joko sen latva- tai tyvipäästä.

Ryväskaadon jälkeen tartuntakohdat jakautuivat tasaisesti kuormaimen ulottuvuusalueella (kuva 5, taulukko 5). Tähän vaikutti ilmeisesti osaltaan myös se, että keskimääräinen ajouraväli oli levein leimi-

OSUUS RUNKOLUVUSTA, %
PROPORTION OF STEM NUMBER, %



Kuva 5. Tartuntaetäisyyksien jakaumat.

Fig. 5. Distribution of distances to grasping point.

Taulukko 5. Tartuntaetäisyyssjakaumien tunnusluvut.
Table 5. Statistical data for distribution of grasping distances.

Jakaumien tunnusluvut Statistical parameter	Ryväskaato Modified directional felling	Uralle kaato Felling towards the strip road	Latva-tyvikaato Top-butt felling
Keskiarvo, m Mean, m	2,76	2,81	2,74
Keskihajonta, m Standard deviation, m	1,72	1,76	1,64
Vinous, g_1 Skewness, g_1	0,12	0,12	0,14
Huipukkuus, g_2 Kurtosis, g_2	—0,98	—0,90	—0,78

kon ryväskaatolohkolla. Latva-tyvikaatoa edustavilla urilla tartuntakohdat keskittyivät eniten ajouran reunavyöhykkeelle 2—3 metrin etäisyyksille uran keskeltä.

Monitoimiosan siirto ja puuhun tarttumisen veivät eniten aikaa ryväskaadon jälkeisessä prosessorityöskentelyssä ja vähiten latva-tyvikaatoa edustavilla urilla. Tämä tulos vastaa tartuntaetäisyyksien jakaumien muotoja. Puun ottamisen ajanmenekkiin vaikuttavat kuitenkin muutkin tekijät kuten kasvamaan jätetty puusto ja poistuman tiheys. Ryväskaatopalstoilla metsikön epätasaisuus heikensi näkyvyyttä ja ajourat olivat kapeampia kuin muualla leimikossa. Ilmeisesti nämä olosuhdetekijät leveimmän ajouravälin ohella lisäsivät tarttumisvaiheen ajanmenekkiä muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Latva-tyvikaatoa edustavilla ajo-urilla poistuman tiheys oli suurin. Tämän vuoksi kaadetut puut muodostivat murren, mikä vaikeutti puun ottoa.

Tarkasteltaessa puun siirtämisen ajanmenekin riippuvuutta tartuntakohdan etäisyydestä havaittiin, että siirtoaika oli pienin tartuntakohdan ollessa 2—4 metrin etäisyydellä uran keskeltä. Karsinta—katkontavaihe sujui hitaimmin silloin kun puu otettiin keskeltä uraa tai kuormaimen ulottuvuusalueen laidalta. Kaadetun rungon ollessa etäällä ajouralta jäävän puuston varominen lisäsi käsittelyaikaa. Kun puu poimittiin uran päältä koneen edestä, käsittely oli usein aloitettava tyven ja latvan väliltä. Tämän seurauksena ajanmenekki lisääntyi, koska koeleimikossa runkojen tyviosatkin olivat oksikkaita, ja puut jouduttiin syöttämään karsintaterien läpi melkein koko pituudeltaan.

Kun puuhun voidaan tarttua tyvestä tai latvasta, sitä usein siirretään ja samalla vedätetään karsintaterien läpi. Tämä tulee

kysymykseen lähinnä silloin, kun runko pölkytetään ajouran vastakkaiselle puolelle puun kasvupaikkaan nähden. Puun syöttäminen kuormainta käännettäessä edellyttää kuitenkin väljää käsittelytilaa.

Puun siirtäminen on vaikeinta, kun se sijaitsee koko pituudeltaan ahtaassa tilassa kasvatettavien puiden välissä. Tällaisessa tilanteessa voidaan menetellä siten, että kuormain ojennetaan suoraksi ja runko pölkytetään peruskoneen ja monitoimiosan väliselle alueelle.

Työvaiheiden lomittaminen oli useammin mahdollista, kun kuormaimen ulottuvuusalueelta poistettavat puut kaadettiin latva-tyvikaatoperiaatteen mukaisesti uralta pois päin. Tällöin esiintyi myös eniten sellaisia puita, jotka valmistettiin kasvupaikkaan nähden samalla puolen ajouraa. Ilmeisesti suuressa määrin näiden tekijöiden vuoksi monitoimiosan siirto puun kanssa vei vähiten aikaa latva-tyvikaadon jälkeen.

Vaihteleva poistuman tiheys saattoi myös vaikuttaa jossain määrin puun siirtämistarpeeseen ja käsittelyaikaan. Runkolukutiheyttä vastaavasti kasoja muodostui pinta-alayksikköä kohti eniten latva-tyvikaatopalstoille ja vähiten uralle kaatoa käytettäessä. Latva-tyvikaatoa edustavilla urilla kasaan oli pölkytetty keskimäärin 3,3 runkoa. Ryväskaadon ja uralle kaadon jälkeen vastaavat luvut olivat 3,1 ja 2,8.

Kun prosessointi rungon päästä lähtien ei onnistu puun sijainnin, kasvatettavan puuston vaurioitumisvaaran tai huonon näkyvyyden johdosta, on valittavana kolme toimintavaihtoehtoa. Puuta voidaan siirtää kuormaimella uran poikkisuunnassa sen verran, että valmistus voidaan aloittaa tyvestä tai latvasta. Usein puuhun kuitenkin tartutaan rungon keskiosasta, ja karsinta aloitetaan tästä kohtaa. Aluksi vedätetään monitoimiosan läpi rungon tyvipää, jonka jälkeen käsittelysuuntaa vaihdetaan. Pitkälle ympäröivään metsikköön molemmin puolin ajouraa ulottuva puu voidaan myös katkaista keskeltä ja käsitellä kahtena osana. Edellä kuvattuja puun siirto- tai karsintavaiheiden ajanmenekkiä lisääviä tilanteita esiintyi eniten, kun kaikki puut kaadettiin ajouraa kohti.

Puun käsittely vei eniten aikaa uralle kaadon jälkeen ja vähiten latva-tyvikaatoa käytettäessä. Ryväskaatomenetelmässä toisella puolella ajouraa puut kaadettiin latva-

tyvikaatotavan mukaisesti ja vastakkaisella puolella uraa kohti. Näin ollen ryväskaato edusti tavallaan kahden muun kaatotavan välimuotoa, ja puun siirtämisen sekä kar-sinnan ja katkonnan ajanmenekit näyttivät käyttäytyvän vastaavasti havaintojen mää-rän suhteen edustavien läpimittaluokkien osalta (ks. kuva 3 s. 6).

42. Tuotos

Taulukossa 6 on esitetty todellisiin ja tasoitettuihin keskimääriisiin puukohtaisiin ajanmenekkeihin perustuvat tehotuntituotokset. Tasoitetun käsittelyajan pohjalta tuotosta laskettaessa kaikkien kaatotapojen osalta käytettiin samaa puukohtaista siirtymisaikaa.

Käyttötuntituotoksen riippuvuutta rungon koosta tarkasteltiin regressioanalyysillä. Puukohtaisen siirtymisajan riippuvuus rungon keskikoosta otettiin huomioon ajourit-taisiin havaintoihin pohjautuvan, koko lei-mikkaa edustavan lineaarisen mallin avulla. Alle 15 minuutin keskeytysten osuudeksi oletettiin 10 % käyttöajasta. Käyttötunti-tuotosta selittävät toisen asteen regressioyh-tälöt olivat seuraavat:

$$y_1 = 2,16 + 77,27x - 65,91x^2$$

$$y_2 = 2,56 + 77,00x - 72,53x^2$$

$$y_3 = 1,61 + 93,65x - 105,02x^2$$

Selitysaste

0,794

0,712

0,715

y_n = käyttötuntituotos, m³/h

n = kaatotapa, 1 = ryväskaato, 2 = uralle kaa-to, 3 = latva-tyvikaato

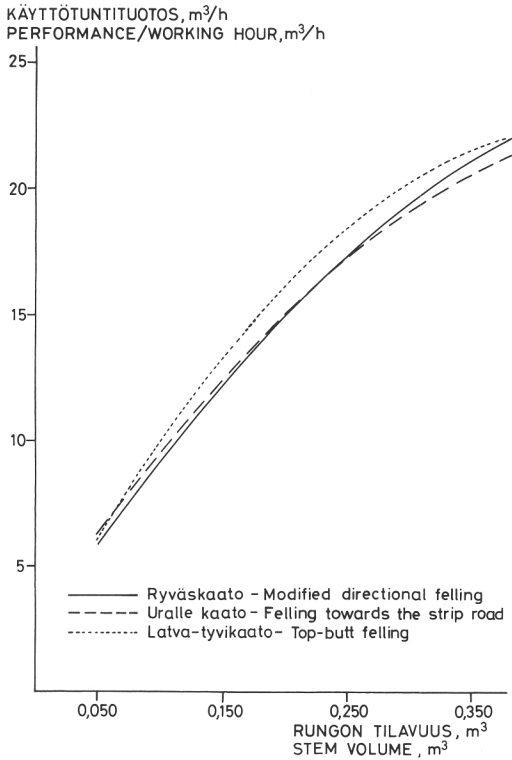
x = rungon käyttöosan tilavuus, m³

Rungon koon vaikutusta tuotokseen ha-vainnollistaa kuva 6, joka on piirretty esi-tettyjen yhtälöiden perusteella. Kaatotavan vaikutus kuormainprossessorin tuottavuuteen oli vähäinen. Latva-tyvikaadon jälkeen tuottavuus näytti kuitenkin olevan hieman parempi kuin muita kaatomenetelmiä sovel-lettaessa.

Taulukko 6. Tehotuntituotokset eri kaatotapojen jäl-keen.

Table 6. Performance/effective hour with different felling methods.

Kaatotapa Felling method	Todellinen tuotos Real performance m ³ /tehotunti — m ³ /effective hour	Tasoitettu tuotos Equalized performance
Ryväskaato Modified directional felling	12,7	13,8
Uralle kaato Felling towards the strip road	14,2	13,7
Latva-tyvikaato Top-butt felling	13,1	14,1



Kuva 6. Käyttötuntituotokset.
Fig. 6. Performance per working hour.

5. PUUSTON VAURIOITUMINEN

51. Tutkimusmenetelmä

Tuotosselvitysten ohessa tutkimuksessa seurattiin jäävän puuston vaurioitumista. Vauriot inventoitiin kuormainprossessorin ja uudelleen metsäkuljetuksen jälkeen. Kuormainprossessorin aiheuttamat vauriot merkittiin maalilla niiden erottamiseksi metsäkuljetuksen vaurioista. Vaurioita inventoitaessa selvitettiin vaurioiden sijainti, vaurioiden sijainti puussa, vaurioiden koko ja laatu sekä määritettiin todennäköinen vaurion syy ja vaurion aiheuttanut elin.

Koska korjuu ja inventointi tehtiin talvela, ei juurivaurioita ollut mahdollista seurata. Paksun lumipeitteen ja runsaan havutuksen vuoksi juurivaurioita syntyi todennäköisesti varsin vähän. Kuitenkin muutamissa kohdissa, joissa kone juuttui kiinni, juurivaurioita varmasti syntyi. Tämä on otettava huomioon vauriomääriä tarkasteltaessa.

Tutkimusaineisto oli vaurioiden inventointia ajatellen suppeahko, mutta samasta aiheesta on tehty myös laajempi vaurioinventointi (Sirén 1982).

52. Vaurioiden määrä, koko, laatu ja sijainti

Vaurioiden määrä laskettiin vaurioprosenttina, vaurioituneiden puiden lukumäärän suhteena jäävän puuston runkolukuun.

Keskimääräinen vaurioprosentti kaikki kaatomenetelmät huomioon ottaen oli 6.0. Eri urilla vaurioprosentti vaihteli 2,4—11,6. Vauriot jakautuivat prossessorin ja kuormatraktorin osalle siten, että prossessorilla vaurioprosentti oli keskimäärin 5,2 vaihdellen 2,4—9,2 ja kuormatraktorin vaurioprosentti keskimäärin 0,8 vaihdellen 0,0—2,4.

Silmiinpistävää oli kuormatraktorin aiheuttama vähäinen vauriomäärä, onhan aiemmissa inventoinneissa kuormatraktori aiheuttanut huomattavasti enemmän vaurioita. Alhainen vaurioprosentti johtunee kuitenkin ajouraleveydestä, joka kuormainprossessorin jäljiltä oli melkoisen suuri.

Eri kaatotavoilla vaurioprosentit vaihtelivat jonkin verran. Eniten vaurioita oli latva-tyvikaadossa, jossa vaurioprosentti oli 8,6. Ryväskaadossa vaurioprosentti oli keskimäärin 5,4 ja uralle kaadossa 4,9. Vauriopuita oli latva-tyvikaadossa keskimäärin 33 puuta/ha sekä ryväskaadossa ja uralle kaadossa molemmissa 21 puuta/ha. Vaurioiden laatu, koko ja sijainti olivat eri menetelmillä varsin samanlaiset, kuten seuraavasta taulukosta ilmenee (taulukko 7).

Vauriot jaettiin pinta- ja syvävaurioihin. Pintavaurioissa kuori on irronnut mutta puuaines on säilynyt vahingoittumattomana. Syvävaurioissa myös itse puuaines on vahingoittunut. Kaikki löydetty vauriot olivat runkovaurioita. Juurivaurioita on saat-

Taulukko 7. Vaurioiden koko, laatu ja sijainti eri kaatotavoilla.
Table 7. Size, type and location of damage incurred when using different felling methods.

Kaatotapa <i>Felling method</i>	Vaurioiden keskikoko, cm ² <i>Mean size of damaged point, cm²</i>	Vaurioiden laatu <i>Type of damage</i>		Etäisyys juuren- niskasta, cm <i>Distance from root collar, cm</i>
		Pintavaurio <i>Superficial damage</i>	Syvä vaurio <i>Deep damage</i>	
		% vaurioista — % of damage		
Ryväskaato <i>Modified direc- tional felling</i>	78	71	29	282
Uralle kaato <i>Felling towards the strip road</i>	62	77	23	182
Latva-tyvikaato <i>Top-butt felling</i>	68	76	24	157

tanut syntyä joitakin kohdissa, joissa kone jäi kiinni ja jauhoi paikallaan. Muualla juurivaurioita tuskin lumen ja havujen ansiosta syntyi.

53. Vaurioitumisen syyt

Koska vauriot inventoitiin jälkikäteen, ei vaurioiden syytä ja vaurioita aiheuttaneita kone-elimä pystytä varmuudella määrittämään. Useinhan vaurio syntyy usean eri tekijän yhteisvaikutuksesta. Vaurioitumisen syy ja vaurion aiheuttanut elin on esitetty kaatotavoittain taulukossa 8.

Kuljettajan huolimattomuus merkittiin syyksi silloin, kun muuta näkyvää syytä ei ollut. Kuljettajan huolimattomuus oli ylivoimaisesti suurin syy vaurioihin. On kuitenkin makuasia sanotaanko syyksi kuljettajan huolimattomuus vai koneen rakenne ja toimintaperiaate.

Kone-elimistä oli eniten vaurioita aiheuttanut prosessoriosa. Toinen muttei yhtä huomattava vauriolähde oli tutkimuksen mukaan käsiteltävä puu. Prosessoriosa oli aiheuttanut suhteellisesti vähiten vaurioita uralle kaadossa. Tämä saattaa johtua siitä, että uralle kaadossa suuri osa puusta on sellaisia, että niihin voidaan tarttua uran päältä ja ne voidaan puida puuta siirtelemättä.

Tämän vuoksi prosessoriosan aiheuttamia, useimmiten syviä vaurioita, on uralle kaadossa muita kaatotapoja vähemmän.

Taulukko 8. Vaurion syy ja vaurion aiheuttanut elin eri kaatotavoilla.

Table 8. Reason for damage and machine part which caused the damage when using different felling methods.

Vaurion syy Reason for damage	Ryväskaato Modified directional felling	Uralle kaato Felling towards the strip road	Latva-tyvikaato Top-butt felling
% vaurioista — % of damage			
Mutka Curve	3	—	—
Kaltevuus Slope	—	10	5
Ajouran kapeus Narrow strip road	3	—	—
Kuljettajan huolimattomuus Driver's carelessness	94	90	95
Yhteensä Total	100	100	100
% vaurioista — % of damage			
Vaurion aiheuttanut kone-elin Machine part which caused the damage			
Pyörä tai tela Wheel or track	3	10	5
Käsiteltävä puu Tree under processing	36	43	38
Prossessoriosa Processor device	61	47	57
Yhteensä Total	100	100	100

6. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimus koski vain yhtä kuljettajaa ja konetta. Myös aineisto oli verraten pieni, joten tuloksia on pidettävä lähinnä suunta-antavina. Käytännössä tietyn kaavamaisen kaatoperiaatteen noudattaminen jokaisen poistettavan puun kohdalla ei ollut mahdollista, ja tämä vähensi kaatotapojen välisiä eroja puiden kaatosuunnan ja sijainnin suhteen. Hakkuumiesten työskentelyä valvottiin kuitenkin jatkuvasti, joten tältä osin aineisto oli luotettava. Tulosten vertailua vaikeutti kuitenkin se, että korjuuolosuhteet eri kaatotapoja edustavilla palstoilla vaihtelivat jossain määrin mm. hakkuupoistuman tiheyden suhteen.

Olosuhteiltaan vakioiduissa pienoissimulaattorikokeissa uralle kaato on todettu prosessorin tuotoksen kannalta edullisimmaksi menetelmäksi silloin, kun tehdään silmävaraisesti katkottua tavaraa. Harstelan (1981) mukaan tämä johtuu uran päälle kaadettujen puiden lyhyistä siirtomatkoista ja myös siitä, että nämä puut ovat kuormaimella helposti otettavissa. Siirtämisen tarve voikin olla vähäinen ja runkoon tarttuminen joutuisaa, kun poistettava puusto on pitkälle karsiutunutta. Tällöin rungon oksaton tyviosa ulottuu usein lähelle uraa tai sen päälle, ja puun käsittely voidaan aloittaa latvuksen alareunasta lähtien.

Koeleimikossa uralle kaadon jälkeistä työskentelyä hidasti se, että oksikkaat puut oli syötettävä melkein koko pituudeltaan monitoimiosan läpi. Lisäksi luminen puusto heikensi näkyvyyttä, ja tämän vuoksi kuormainta ei yleensä työnnetty etäälle uran sivuun, vaan ajouran päälle kaadettuun puuhun tartuttiin rungon keskiosasta. Usein rungon syöttäminen aloitettiin tartuntakohdasta lähtien, ja tyvipään karsimisen jälkeen käsittelysuuntaa vaihdettiin. Puuta voitiin myös siirtää kuormaimella sen verran, että monitoimiosalla saatiin ote rungon päästä.

Työvaiheiden lomittaminen onnistui parhaiten, kun puun käsittely aloitettiin suoraan rungon päästä. Tämä tuli taas useimmin kysymykseen, kun kaikki kuormaimen ulottuvuusalueelta poistettavat puut kaadettiin uralta pois päin. Jos puu sijaitsi koko pituudeltaan ajolinjan ulkopuolella, sitä ei aina siirretty, vaan runko voitiin pölkyttää myös puun kasvupaikkaan nähden samalle puolelle ajouraa. Nähtävästi suurimmaksi osaksi näiden tekijöiden vuoksi siirto-, karsinta- ja katkontavaiheet veivät latva-tyvikaadon jälkeen jonkin verran vähemmän aikaa kuin muita menetelmiä käytettäessä. Prosessorin tuottavuudessa eri kaatotapojen jälkeen ei kuitenkaan todettu tilastollisesti merkitseviä eroja.

Kuormainprossessorilla työskenneltäessä syöttösuunta ja käsittelypaikka voidaan valita melko vapaasti, ja puut on mahdollista ottaa mistä suunnasta tahansa. Juuri joustavan toimintaperiaatteensa ansiosta kuormainprossessorin tuottavuus on hyvin suuressa määrin riippumaton kaatomenetelmästä. Myös aiemmat tutkimukset tukevat tätä käsitystä (Kvist 1980, Österlöf 1980, Högnäs 1982). Näin on nimenomaan silloin, kun valmistetaan vapaanpituista kuitupuuja, jolloin latva edellä käsittelymahdollisuus voidaan täydellisesti hyödyntää.

Kaatotavan vaikutus prosessorin tuottavuuteen kuitenkin kasvaa ja latva-tyvikaadon edullisuus muihin menetelmiin verrattuna paranee, kun järeä puu valmistetaan määrämittäiseksi (Harstela ym. 1982). Tämä johtuu siitä, että kuormaimen ulottuvuusalueelta uralta pois päin kaadettuihin puihin voidaan tarttua läheltä sitä pistettä, josta tyvitukin mittausta alkaa.

Hakkuumiehen kannalta ryväskaato on paras menetelmä, koska sitä sovellettaessa

pääosa puista voidaan kaataa samaan suuntaan ja harvennettua metsää kohti. Tällöin konkeloita syntyy vähemmän, ja aiemmin kaadettujen puiden latvukset eivät haittaa siirtymistä ja kaatotyötä. Työskentely on hankalinta latva-tyvimenetelmää käytettäessä, koska puut kaadetaan molemmin puolin ajouraa vyöhykkeittäin vastakkaisiin suuntiin.

Tutkimuksessa havaitut vauriomäärät, vaikkakin olivat verraten korkeita, edustavat kuormainprossessorista saatujen kokemusten perusteella pikemminkin alhaista tasoa. Tutkimuksessa vaurioprosentti oli keskimäärin 6,0 vaihdellen eri kaatomenetelmillä 4,9—8,6. Kuormainprossessorin tuoksia ja vaurioita on tutkittu aiemminkin mutta olosuhteet ja inventointimenetelmät ovat olleet sangen vaihtelevia ja siksi vauriomäärätkin vaihtelevat paljon. Österlöf (1980) tutki eri ruotsalaisyritysten työmailla eri kaatotapojen vaikutusta tuotoksiin ja vaurioitumiseen. Menetelmissä käytettiin osittain vinssausta, joka aiheuttamansa kustannuslisän vuoksi on Suomessa vierasta kuormainprossessoria käytettäessä. Tutkimusaineistossa oli yhteisenä menetelmänä eri yrityksissä kaatotapa, jossa puut kaadettiin pois päin uralta ja kaukaisemmat puut vinssattiin käsittelyetäisyydelle. Tällöin vaurioprosentti vaihteli 2,3—3,1. Latva-tyvikaadossa vaurioprosentti oli 2,8 ja yhden-suuntaiskaadossa 5,6.

Sirénin (1982) vaurioinventoinnissa tutkittiin vauriot 15 suomalaiselta leimikolta, joiden yhteispinta-ala oli 75,45 ha. Tutkimusleimikoista 10 oli kaadettu latva-tyvi-menetelmällä ja 5 uralle kaadolla. Keskimääräinen vaurioprosentti oli 11,1 vaihtelun ollessa 5,5—21,9. Kaatotapojen välillä ei ollut suurta eroa. Latva-tyvikaadossa vaurioprosentti oli keskimäärin 11,4 vaihdellen 5,5—20,4. uralle kaadossa vaurioprosentti oli keskimäärin 10,6 vaihdellen 5,0—21,9.

Samankaltaisia huolestuttavan korkeita vauriomääriä sai Vainikka (1982), joka tutki kuormainprossessorin korjuuvaurioita Kotkan puutalouspiston havaintometsässä 10,25 ha suuruudessa varttuneessa kasvatusmetsässä. Leimikolla käytettiin uralle kaattoa. Vaurioprosentti tutkimuksessa vaihteli palstoittain 4,7—14,9.

Högnäs (1982) tutki FINKO 50-kuormainprossessoria kasvatushakkuussa. Tutki-

tut kaatomenetelmät olivat latva-tyvikaato, latva-tyvikaato 45° kulmassa ajouraan nähden ja ryväskaato. Aineisto käsitti sekä nuorempaa harvennusmetsää että väljennystä. Vaurioprocentit vaihtelivat vain vähän eri menetelmillä. Ensiharvennuksessa vaurioprocentti oli latva-tyvi -kaatotavalla 7,0, 45° kulmassa tehdyssä latva-tyvikaadossa 4,9 ja ryväskaadossa 5,5. Väljennyksessä vaurioprocentti latva-tyvikaadossa oli keskimäärin 5,3, 45° kulmassa tehdyssä latva-tyvikaadossa 4,9 ja ryväskaadossa 4,2.

Harstela ja Maukonen (1982) tutkivat puuston vaurioitumista kuormainprosessorilla Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusaseman pienoissimulaattorilla. Simulaattorilla on kuitenkin vaikea saada täsmällistä tietoa esim. vaurioiden määrästä ja laadusta, koska puuhun kohdistuvan kolhaisun voimakkuutta on simulaattorilla vaikea arvioida. Tutkitut kaatotavat olivat latva-tyvikaato, uralle kaato ja ryväskaato. Paras kaatotapa jäävää puustoa ajatellen oli uralle kaato, kun taas latva-tyvikaadon ja ryväskaadon välillä ei keissa ollut huomattavaa eroa vaurioitumisessa.

On vaikea sanoa varmuudella, mikä kaatotapa on vaurioitumisen suhteen paras. Tulosten mukaan uralle kaato aiheutti vähiten vaurioita, seuraavana tuli ryväskaato ja eniten vaurioita aiheutti latva-tyvikaato. Samankaltainen tulos on saatu myös simulaattorilla, jolla pystytään olosuhteiden vaihtelun vaikutus poistamaan.

Uralle kaadon etuja vaurioitumisen suhteen onkin löydettyissä. Prosessoriosa ja käsiteltävä puu ovat aiheuttaneet valtaosan vaurioista kaikilla kaatomenetelmillä. Vau-

rioita syntyy sitä vähemmän mitä vähemmän prosessoriosaa ja käsiteltävää puuta joudutaan siirtelemään uran ulkopuolella. Uralle kaadossa puu on useimmiten uran päällä, jossa siihen voidaan tarttua ja käsitellä puu siirtämättä sitä uran pituussuunnassa. Tällöin käsittely sujuu vaivatta ja vaurioitumisriski on pieni. Sen sijaan erityisesti latva-tyvikaadossa mutta myös ryväskaadossa huomattava osa puista sijaitsee tyvi kohti uraa poispäin urasta kaadettuna. Usein koneen kuljettaja havaitseekin tällaisen puun tiheässä metsässä vasta koneen ollessa puun kohdalla. Tällöin kuljettajalla on kaksi vaihtoehtoa. Jos koneen sivulla on sopiva kasan paikka, hän voi ojentaa kouran metsään ja käsitellä puun siirtämättä sitä uran pituussuunnassa. Jos sopivaa kasaupaikkaa ei ole, kuljettaja joutuu tarttumaan puuhun ja siirtämään sitä uran pituussuunnassa ennen käsittelyä. Ensimmäisessä vaihtoehdossa koura ja toisissa vaihtoehdoissa käsiteltävä puu tai koura aiheuttavat helposti vaurioita. Näin ollen puiden parempi otettavuus uralle kaadossa saattaa olla osasyynä alhaisempiin vauriomääriin.

Uralle kaadon edut tulevat kuitenkin esiin vain rankaa tehtäessä. Kun hakataan määrämittaista puutavaraa, mittaus joudutaan aina aloittamaan rungon tyvestä, ja tämän vuoksi puuta joudutaan juoksettamaan prosessoriosan läpi. Määrämittaista tavaraa tehtäessä puun siirtelytarve on uralle kaadossa suuri. Tutkimukset viittaavatkin siihen, että määrämittaista tavaraa tehtäessä latva-tyvikaato olisi edullisin kaatomenetelmä (Harstela ym. 1982).

KIRJALLISUUS

- HARSTELA, P. 1981. Minkälainen harvennusprosessorin tulisi olla? *Metsä ja Puu* 4:16—19.
- , KALAJA, H., NEVALAINEN, T. & TERVO, L. 1982. Ennakkotuloksia suomalaisiin monitoimikoneisiin ja neuvostoliittolaisiin peruskoneisiin perustuvista korjuuketjuista. Konekirjoite, Metsäntutkimuslaitos.
- & MAUKONEN, A. 1982. Tavanomainen ja kuormainprosessori myöhemmissä harvennuksissa. Simulaattorikoe. Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos.
- HÖGNÄS, T. 1982. Kokemuksia Finko-50 kuormainprosessorin käytöstä harvennushakkuissa. *Metsä-*

- hallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus.
- KVIST, G. 1980. Svenska Cellulosa Aktiebolaget. SCA Gallringsexursion. Lycksele. Moniste.
- SIRÉN, M. 1982. Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainprosessorilla. Summary: Stand damage in thinning operation with a grapple loader processor. *Folia For.* 528:1—16.
- VAINIKKA, A.-P. 1982. Kouraproessorin aiheuttamat korjuuvauriot ja niistä johtuvat taloudelliset tappiot Kotkan puutalouspiston havaintometsässä Havusillan leimikossa. Käsikirjoitus.
- ÖSTERLÖF, P. 1980. Skogsjan i gallring. Skogsarbeten ekonomi 8.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF THE FELLING METHOD ON THE PERFORMANCE OF A GRAPPLE LOADER PROCESSOR

The development of harvesting methods which are acceptable from the point of view of wood production and rationalisation presents considerable problems. A grapple loader processor has been found to be a suitable machine for harvesting.

The felling work for the machine can be done by different methods. Hence, the influence of the felling methods on the performance of a grapple loader processor was studied. The damage caused by the felling methods was also studied.

The material was collected from a cutting site of United Paper Mills Ltd. in March 1982. The site was a spruce stand about 60 years old. The average snow depth was 60 cm. The timber was processed into 4–6 m pulpwood. The basic machine of the processor was a Valmet 882 K-forwarder with the frame shortened 130 cm. A Volvo BM Valmet 450 grapple loader processor was mounted on a Cranab 9015 crane.

The felling methods studied were top-butt felling, felling towards the strip road and modified directional felling (Fig. 1, p. 4).

The influence of the felling method on productivity was small. There were no great difference in performance between the felling methods. Moving of the tree, limbing and bucking took the least time after top-butt felling and the performance was a little better than with the other felling methods.

Comparison of the results was complicated by the fact that the sites studied were not homogenous.

Synchronization of movement of the tree and limbing proceeded best when it was possible to grasp the tree from the butt or top.

In top-butt felling all the trees within the radius of the crane were moved away from the strip road and it was possible to start processing directly from the butt. Trees lying beyond the strip road were not always moved, but the stem was bucked on the side facing the strip road. It was mostly for these reasons that the processing of the tree was somewhat faster with top-butt felling than with the other methods. There were no statistically significant differences in performance between the felling methods studied.

In felling towards the strip road there was little need to move the tree and it could be grasped quickly. In this case the branchless butt end of the stem was often very near of on the strip road and processing could be started from the lower edge of the crown.

In the stand studied, work after felling towards the strip road was delayed by the fact that branchy trees had to be fed almost whole through the processor device. In addition, snow reduced visibility with the result that the crane was not thrust far beyond the

strip road and the tree was grasped in its middle part. Limbing was then started from the part grasped and the processing part was changed after the butt had been limbed. It was also possible to move the tree so that it could be grasped from the butt. The processing of the tree took the most time after felling towards the strip road and was fastest with top-butt felling.

Modified directional felling was the modified felling method between felling towards the strip road and top-butt felling and the time expenditure also fell between that of these two methods.

The performance of the grapple loader processor is very independent of the felling method. This is particularly true of processing wood into varying lengths. For processing stock or pulp wood which needs measuring, the top-butt method would seem to be the best because it permits grasping of the tree near the point where measuring starts.

Damage to the residual growing stock was recorded. The mean damage percentage was 6.0. The damage was distributed between the processor and forwarder as follows: for the former the damage percentage was 5.2 on average, range 2.4–9.2, and for the forwarder the corresponding percentages were 0.8 and 0.0–2.4.

There were some differences in the damage percentages of the three felling methods. Top-butt felling caused the most damage, 8.6 %. Modified directional felling gave a damage percentage of 5.4 and felling towards the strip road 4.9.

The felling methods studied were very similar in scope and quality. The damage was mostly small. The damaged area varied with the three methods between 68 and 78 cm². Over 70 % of the damage caused by all the felling methods was superficial, loosening of the bark without damaging the underlying wood. The driver's carelessness was the most common reason for the damage.

The processor device was the machine part which caused most of the damage. The processing of the tree also caused considerable damage.

Felling towards the strip road was the best of the three methods as regards damage. The reason might be that when felling trees towards the strip road many trees can be grasped and processed without having to be moved in the longitudinal direction of the strip road. The advantage of felling towards the strip road can be exploited only when processing wood into varying lengths. In processing stock or pulp wood which needs measuring, the measuring must always start from the butt, which increases the movement of the tree. It seems when measuring is needed the best method is top-butt felling.

ODC 323.13 + 35 + 462
ISBN 951-40-0606-2
ISSN 0015-5543

IMPONEN, V. & SIRÉN, M. 1983. Kaatotavan vaikutus kuormainprossorin tuottavuuteen. Summary: The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor. Folia For. 548:1—14.

The influence of the felling method on the performance of and the damage caused by a grapple loader processor were studied. The stand was a 60-year old spruce stand and the density volume before cutting was 240 m³/ha.

The felling methods studied were top-butt felling, felling towards the strip road and modified directional felling. The influence of the felling method on the performance of the grapple loader processor was small when processing timber of tree length. When measuring is needed, top-butt felling seems to be the best method.

The average damage percentage in the stand was 6.0. The damage percentage of the processor was 5.2 and of the forwarder 0.8.

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

ODC 323.13 + 35 + 462
ISBN 951-40-0606-2
ISSN 0015-5543

IMPONEN, V. & SIRÉN, M. 1983. Kaatotavan vaikutus kuormainprossorin tuottavuuteen. Summary: The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor. Folia For. 548:1—14.

The influence of the felling method on the performance of and the damage caused by a grapple loader processor were studied. The stand was a 60-year old spruce stand and the density volume before cutting was 240 m³/ha.

The felling methods studied were top-butt felling, felling towards the strip road and modified directional felling. The influence of the felling method on the performance of the grapple loader processor was small when processing timber of tree length. When measuring is needed, top-butt felling seems to be the best method.

The average damage percentage in the stand was 6.0. The damage percentage of the processor was 5.2 and of the forwarder 0.8.

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

Tilaan kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please, send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi

Name _____

Osoite

Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communicaciones Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

Kannuksen energiametsäkoasema
Kannus Energy Forestry Experiment Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

- No 525 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1981.
Abstracts of the publications of the Finnish Forest Research Institute, 1981.
- No 526 Silfverberg, Klaus: Näringsanalys i två spårämnesgödslade granplanteringar.
Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients.
- No 527 Nikkanen, Teijo: Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella.
Survival and height growth of North Finland $\times$ South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas.
- No 528 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainproessorilla.
Stand damage in thinning operation with grapple loader processor.
- No 529 Valtonen, Kari: Sahatavaran ja puulevyjen käyttö uudisrakentamiseen 1970-luvulla.
Use of sawnwood and wood-based panels in new building construction in the 1970's.
- No 530 Hannelius, Simo: Metsäkiinteistöjen kauppahinta-aineisto ja sen soveltuvuus kauppa-arvomenetelmän vertailuperusteeksi.
Forest real estate purchase price statistics as a basis for comparison method in real estate appraisal.
- No 531 Kinnunen, Kaarlo: Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa.
Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland.
- No 532 Lyly, Olavi & Saksa, Timo: Pituuskasvun vaihtelu ja puuluokkien eriytyminen nuoressa istutusmännikössä.
Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation.
- No 533 Lähde, Erkki, Nieminen, Jarmo, Etholén, Kullervo & Suolahti, Pekka: Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskolla.
Older lodgepole pine stands in southern Finland.
- No 534 Mälkönen, Eino & Saarsalmi, Anna: Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa.
Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands.
- No 535 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forest of western Finland.
- No 536 Raitio, Hannu: Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä.
Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field.
- No 537 Leikola, Matti, Raulo, Jyrki & Pukkala, Timo: Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen.
Prediction of the variation of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce.
- No 538 Takalo, Sauli & Väyrynen, Seppo: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa.
Terri light crawler in timber transport.
- No 539 Appelroth, Sven-Eric: Rekommendationer för materialinsamling och resultatpresentation vid tidsstudier av skogsvårdsarbeten.
Recommendations for collecting data and presenting results of time studies on silvicultural operations.
- No 540 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1980—82.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1980—82.
- No 541 Saksa, Timo & Lähde, Erkki: Siemenen määrä männyn, kuusen ja lehtikuusen suojakylvössä.
Number of seeds in shelter sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch.

1983

- No 542 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuupölkkyjen mittaustutkimuksia.
Studies of the measurement of pulpwood bolts.
- No 543 Kärkkäinen, Matti & Björklund, Tarja: Suomussalmelaisten mäntyukkien koesahaustuloksia.
On the sawing of pine logs from Suomussalmi, north-eastern Finland.
- No 544 Petäistö, Raija-Liisa: Rauduskoivun versolaikut taimitarhalla.
Stem spotting of birch (*Betula pendula*) in nurseries.
- No 545 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella.
Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory.
- No 546 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Istutustaimikoiden tila 11—12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of plantations 11—12 years after planting in some private forests in western Finland.
- No 547 Rousi, Matti: Pohjois-Suomen siemenviljelysjälkeläistöjen menestymisestä Kittilässä.
The thriving of the seed orchard progenies of northern Finland at Kittilä.
- No 548 Imponen, Vesa & Sirén, Matti: Kaatotavan vaikutus kuormainproessorin tuottavuuteen.
The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0606-2
ISSN 0015-5543