

FOLIA FORESTALIA³⁷⁸

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1979

MARKKU MÄKELÄ

TILASTO- JA AIKATUTKIMUSTUOTOSTEN
VERTAILUA AINESPUUN KORJUUSSA

OUTPUT IN HARVESTING OF INDUSTRIAL
WOOD BASED ON STATISTICAL DATA OR
TIME STUDIES

- 1977
- No 307 Kilkki, Pekka, Kuusela, Kullervo & Siitonen, Markku: Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille.
Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland.
- No 308 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1974—76.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1974—76.
- No 309 Mäkelä, Markku: Hakkuutätteen ominaisuuksien muuttuminen.
Changes in the quality of logging residues.
- No 310 Harstela, Pertti, Järvinen, Juhani, Tervo, Leo & Aholainen, Raimo: Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälle teko ja LEKA-menetelmä).
The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method).
- No 311 Takalo, Sauli & Sauvala, Kari: Havaintoja metsurin suojainten kestävydestä ja sen mittaamisesta.
Observations on the durability and testing of protective clothing for chain saw workers.
- No 312 Leikola, Matti, Metsämuuronen, Markku, Räsänen, Pentti K. & Taimisto, Erkki: Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975.
The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975.
- No 313 Kolari, Kimmo, Paavilainen, Eero & Raitio, Hannu: Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella.
Pine root condition and growth disturbances.
- No 314 Anttila, Tuula & Lähde, Erkki: Lannoituksen vaikutus paperikenoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa.
Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery.
- No 315 Kanninen, Kaija: Palkkausmuodot ja niiden vaikutus metsätöissä.
Forms of remuneration and their influence on forest work.
- No 316 Mäkelä, Markku: Leimikoittainen metsätähdemäärä.
The amounts of logging residues and stump and root wood at certain work sites.
- No 317 Kaunisto, Seppo: Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla.
Effect of drainage intensity and fertilization on the development of pine plantations on oligotrophic treeless Sphagnum bogs.
- No 318 Kinnunen, Kaarlo: Istutuksen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Länsi-Suomen yksityismetsissä.
The survival and initial development of plants in private forests in western Finland.
- No 319 Ferm, Ari & Pohtila, Eljas: Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoituminen auratuilla metsänuudistusalioilla Lapissa.
Succession of ground vegetation and levelling of ploughed tracks on reforestation areas in Finnish Lapland.
- No 320 Kuusela, Kullervo: Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970—1976.
Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970—1976.
- No 321 Heikinheimo, Lauri, Jaatinen, Esko, Kellomäki, Seppo, Lovén, Lasse & Saastamoinen, Olli: Metsien virkistyskäyttö Suomessa. Esitutkimusraportti.
Forest recreation in Finland. Pilot study.
- No 322 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1973 (1970).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1973 (1970) by districts.
- No 323 Erkkilä, Pentti, Silander, Soini, Tiuhonen, Paavo & Örn, Jouko: Pystymittaus ja runkojen luku hakkuupalkan laskentaperusteina työväikeuspalstalla.
Massenermittlung am stehenden Holz und Stamzahl als Unterlage für die Berechnung des Arbeitslohns auf grösseren Schlaglosen mit gleichmässigen Arbeitsbedingungen.
- No 324 Vuokila, Yrjö: Puolukkatyyppi kuusen kasvupaikkana.
Vaccinium type as a spruce site.
- No 325 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun istutustuloksia Lapissa.
Reforestation results with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 326 Paavilainen, Eero: Männyn istutus suopeltojen metsityksessä.
Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields.
- No 327 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results.
- No 328 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Moottorisahavintturin käytöstä pienten puiden ja tukkien esijuonnossa.
Preliminary skidding of small trees and sawlogs by power saw winch.
- No 329 Kinnunen, Kaarlo & Linnimäki, Jorma: Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa.
Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia.
- No 330 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1975—77.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1975—77.

FOLIA FORESTALIA 378

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1979

Markku Mäkelä

TILASTO- JA AIKATUTKIMUSTUOTOSTEN VERTAILUA
AINESPUUN KORJUUSSA

Output in harvesting of industrial wood based on statistical data
or time studies

ODC 355
ISBN 951-40-0372-1
ISSN 0015-5543

MÄKELÄ, M. 1979. Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Summary: Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies. Folia For. 378: 1—22.

Selvityksessä laskettiin tilastotiedoista saadut tuotokset sekä niiden riippuvuudet eri tekijöistä ihmistyövaltaisessa hakkuussa, puutavaran teossa prosessoreilla ja harvestereilla sekä kuormatraktorikuljetuksessa. Käytetyt tilastotiedot saatiin metsäteollisuusyritysten koneseurantatiedoista sekä erilaisista tutkimusraporteista.

Käytetyt tilastotiedot soveltuivat varsin hyvin prosessoreiden, harvestereiden ja kuormatraktoreiden tuotostasoon vaikuttavien tekijöiden määrittämiseen. Ihmistyövaltaisessa hakkuussa ei käytetyn tilastoaineiston suuresta hajonnasta voitu selittää kuin pieni osa.

Prosessoreiden ja harvestereiden tilastoista saatu tuotostaso vastasi keskimäärin aikatutkimusten tuotostasoa. Kuormatraktoreilla oli tilastojen antama tuotostaso puolestaan hieman aikatutkimusten tuotostasoa alhaisempi.

Output levels derived from statistical data and their dependence on different factors in manual felling, timber harvesting done with processors and harvesters and terrain transport with forwarders were calculated in the study. The statistical data was obtained from the time sheets of forest industry enterprises for different types of machine and from various study reports.

The statistical data was found to be rather well suited for determining the factors affecting the output levels of processors, harvesters and forwarders. In the case of manual felling, only a small part of the large variation could be explained.

The output level derived from statistical data for processors and harvesters was in agreement with the average output level obtained in time studies. The statistical output level for forwarders was slightly lower than that obtained in time studies.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
11. Yleistä	4
12. Tuotostaso	4
13. Käsitteitä	4
2. MIESTYÖVALTAINEN HAKKUU	5
21. Tilastotuotoksia	5
22. Aikatutkimustuloksia	7
3. PUUTAVARAN TEKO MONITOIMIKONEELLA	7
31. Prosessorit	7
Aineisto	7
Korjuuolosuhteet	7
Ajankäyttö	8
Tuotokset	8
Eri tekijöiden vaikutus tuotoksiin	10
Saatujen tuotosten vertailu	12
Päätelmiä	13
32. Harvesterit	14
Aineisto	14
Korjuuolosuhteet	14
Ajankäyttö	14
Tuotokset	14
Saatujen tuotosten vertailu	15
4. METSÄKULJETUS KUORMATRAKTORILLA	15
41. Aineisto	15
42. Kuormatraktoreiden luokitus	15
43. Korjuuolosuhteet	16
44. Ajankäyttö	16
45. Tuotokset	16
Traktorikohtaisten tekijöiden vaikutus tuotoksiin	16
Korjuuteknisten tekijöiden vaikutus tuotoksiin	17
Tuotosten kehittyminen	18
46. Päätelmiä	19
5. TULOSTEN TARKASTELU	20
KIRJALLISUUS	21
SUMMARY	22

1. JOHDANTO

11. Yleistä

Tämän selvityksen tarkoitus on esittää ainespuun korjuun tuotostaso sellaisena kuin se on saatavissa kerätyistä tilastoista sekä analysoida tuotokseen vaikuttavia tekijöitä. Saatuja tilastotuotoksia on verrattu aikatutkimustuloksiin perustuviin tuotoksiin. Vertailun tulokset on esitetty kunkin korjuuvaiheen kohdalla.

Tilastotuotosten käsittely rajoitettiin tässä selvityksessä ainespuun korjuuseen. Siinä tilastotuotosten taso vastaa todennäköisesti parhaiten aikatutkimuksissa saatua tuotostasoa, sillä eri työvaiheiden suoritus on riippumaton korjuun muista työvaiheista. Sellaisessa puunkorjuussa, jossa ei näin ole (esim. kokopuuhaketuksessa), voi koneille aiheutua muista työvaiheista johtuvia odotuksia, jotka pienentävät saavutettavaa tuotostasoa.

Selvityksessä käytetyt tilastoaineistot olivat hakkuuta lukuun ottamatta varsin laajoja. Aineiston lisääminen olisi luultavasti aiheuttanut jonkinlaisia muutoksia tuotoksiin, mutta niiden tasoon tällä olisi tuskin ollut ainakaan suurta vaikutusta. Saatuja tuloksia on siis pidettävä lähinnä tuotostasoa osoittavina.

Tässä selvityksessä saadun tuotostason mahdollinen poikkeama todellisesta tasosta johtuu käytetyistä tilastoaineistoista, joita kerättyessä ei ole pyritty tilastolliseen edustavuuteen. Tilastotietojen keräyksen yhdenmukaistaminen sekä tietojen keruun tarkka valvonta takaavat luotettavat tiedot.

12. Tuotostaso

Tuotostaso voidaan esittää aikatutkimustuotosten tai tilastotuotosten perusteella. Aikatutkimuksissa saadaan tuotos tutkitulle koneelle kyseisissä olosuhteissa tutkitulla kuljettajalla. Laajoista aikatutkimuksista on lisäksi laskettavissa erilaisten tekijöiden vaikutus tuotoksiin tutkimusolosuhteissa.

Aineistoltaan suppeista aikatutkimuksista

saadut tuotokset ovat konetyössä usein suuremmat kuin vastaavat tilastotuotokset ja vastaavat joskus jopa korkeinta mahdollista tuotostasoa (Morenius ja Mossberg 1977). Tilastotuotosten alempaan tasoon konetyössä vaikuttaa mm. alhaisempi tuotos työmaan aloitus- ja lopetusvaiheessa, koneiden siirtymiset työmaan eri osiin ja työmaiden soveltumattomuus korjuuketjun kaikille osille. Syynä voi olla myös se, että joskus aikatutkimusaineistot kerätään keskimääräistä paremmissa olosuhteissa ja tutkitut työntekijät ovat keskimääräistä taitavampia.

Tilastotuotokset edustavat lähinnä käytännössä toteutuvaa keskimääräistä tuotostasoa. Niistä ei yleensä selviä helposti eri tekijöiden vaikutus tuotoksiin, koska tilastoista saatavat tiedot ovat jo yleensä muuttujien keskiarvoja. Sen sijaan tilastoista on saatavissa keskimääräinen tuotostaso, edellyttäen että aikahavainnot on tehty luotettavasti. Aikamerkinnyt tekee korjuutyössä yleensä työn suorittaja, siis hakkuumies tai koneen kuljettaja. Koska palkka työstä maksetaan yleensä määrän perusteella, ei aikahavaintojen tarkkuudella ole suurta merkitystä, eikä niiden oikeellisuutta yleensä valvota. Yleisesti oletetaan, että työn suoritukseen käytetty aika merkitään helposti liian suureksi eli sen perusteella laskettu tuotos on todellista tuotosta alhaisempi. Asiasta ei ole kuitenkaan luotettavaa selvitystä. Näin ollen ei varmuudella tiedetä, saadaanko tilastotiedoista luotettavampi tuotostaso kuin aikatutkimuksista.

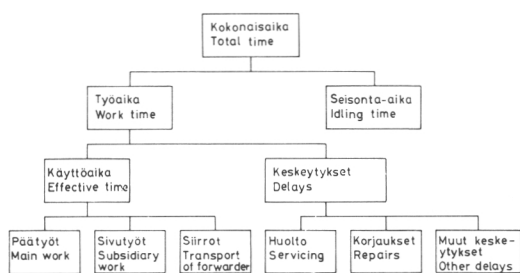
13. Käsitteitä

Tässä selvityksessä on käytetty Pohjoismaissa yleistä koneiden seurannan aikajaoitelmaa (kuva 1).

— *Kokonaisaika* on laskentakauden koko aikamäärä.

— *Työaika* on se osa kokonaisajasta, jolloin koneen kuljettaja on paikalla.

— *Seisonta-ajan* muodostavat ruokatunnit,



Kuva 1. Selvityksessä käytetty aikaajaotelmia.
Fig. 1. Division of total time used in study.

yöt, pyhät, lomat ja ajat, jolloin koneella ei ole työtä.

- **Käyttöaika** on se osa työajasta, joka käytetään eri työtehtävien suorittamiseen alle 15 minuutin pituiset keskeytykset mukaan luettuina.
- **Päätyö** on se työtehtävä, joka kulloinkin katsotaan koneen varsinaiseksi työtehtäväksi.

väksi.

- **Sivutyöt** ovat esimerkiksi puutavaran kuljetuksen yhteydessä tie- ja muut työt, joita ei haluta tarkemmin eritellä.
- **Siirtoihin** luetaan työmaalta toiselle tapahtuvat sekä työmaan sisäiset, yli 15 minuuttia kestävät siirrot.
- **Keskeytyksiin** luetaan yli 15 minuuttia kestävät huoltotyöt, korjaustyöt, jotka voivat myös sisältää varaosien odotusta tai siirron korjaamolle sekä muut keskeytykset.

Kaikki tässä selvityksessä esitettävät koneityötä koskevat tuotokset on laskettu käyttöajan päätyötä eli ns. pääkäyttöaikaa kohti. Miestyövaltaisessa hakkuussa tuotokset on sen sijaan laskettu työ(maa)aikaa kohti.

Leimikon järeydellä tarkoitetaan tässä selvityksessä puiden kokoa kuvaavaa tunnusta, joka saadaan jakamalla hakattujen puiden kuutiomäärä niiden lukumäärällä.

2. MIESTYÖVALTAINEN HAKKU

21. Tilastotuloksia

Perinteisessä tavaralajimenetelmässä puut hakataan tavaralajeiksi käyttäen pinnanmyötäistä karsintaa ja määräpituista katkontaa. Kehittynyt tavaralajimenetelmä eroaa edellisestä siten, että siinä käytetään tynkäkarsintaa ja/tai silmävaraista katkontaa.

Metsätehon vuoden 1975 talvella keräämän hakkuutilaston mukaan oli keskimääräinen hakkuutuotos perinteisellä tavaralajimenetelmällä $1,04 \text{ m}^3$ työtunnissa. Kehittyneissä tavaralajimenetelmissä oli vastaava tuotos $1,66 \text{ m}^3$ /työtunti.

Tätä selvitystä varten käsiteltiin uudelleen Metsätehon keräämät hakkuutilastot talvilta 1971 ja 1975 sekä syksyltä 1971 (Rysä ja Savolainen 1972, Eskelinen ym. 1976). Tämä tehtiin siksi, että saataisiin selville erilaisia riippuvuuksia Metsätehon tutkimusraporteissa esitettyjen keskiarvojen ja keskihajontojen¹⁾ lisäksi.

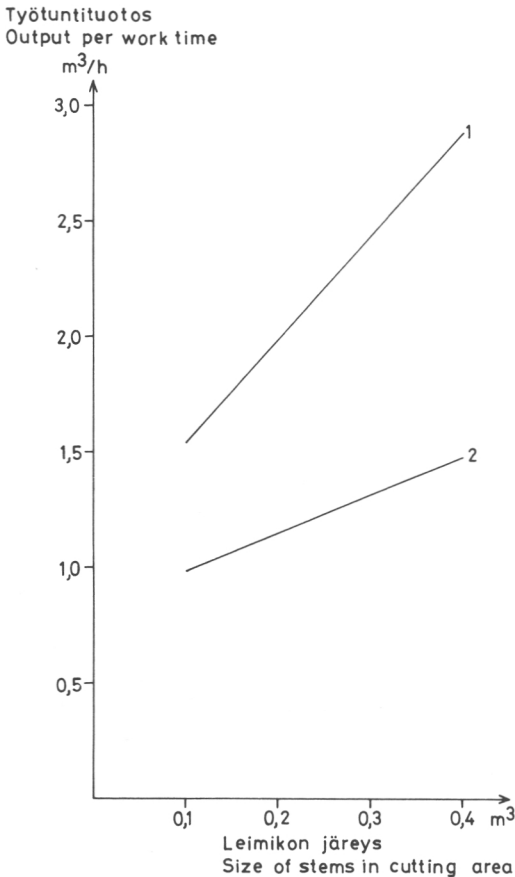
Tilastoaineisto käsitti 163 hakkuumieskohtaista leimikkoittaista havaintoa. Muuttujina olivat hakkuumenetelmä, puulajien suhteelliset osuudet hakkuumäärästä, kyseiseltä leimikolta hakkuumiehen valmistama puumäärä tavaralajeittain, työajan menekki, työmaan koko, työmaan rungon keskikoko, leimikon tiheys sekä lumen syvyys. Lisämuuttujiksi laskettiin aineistosta hakkuutuotos (m^3 /työtunti), työntekijän kokonais-**hakkuumäärä** ko. leimikossa, sen neliö ja luonnollinen logaritmi, tukkien osuus kokonaishakkuumäärästä, sen neliö ja luonnollinen logaritmi, rungon koon neliö ja luonnollinen logaritmi sekä lumen syvyyden neliö ja luonnollinen logaritmi.

Hakkuutuotokset laskettiin työtuntia kohti perinteiselle tavaralajimenetelmälle sekä kehittyneelle tavaralajimenetelmälle, jossa oli tynkäkarsinta ja silmävarainen katkonta. Kun valikoivassa regressioanalyysissä oli mukana kaikki edellä mainitut muuttujat, tuli hakkuumiehen hakkaaman puumäärän vaikutus tuotoksien suuruuteen erittäin suureksi. Tälle ilmiölle ei löytynyt mitään luonnollista selitystä. Koska voitiin olettaa ettei

1) Jatkossa keskihajontaa kutsutaan vain lyhyesti hajonnaksi.

hakkuumiehen hakkaaman puumäärän vaikutus tuotoksiin vastaa todellisuutta, jätettiin se pois jatkotarkastelusta. Samalla otettiin rungon keskikoko pakolliseksi selittäjäksi. Nämä toimet puolestaan alensivat huomattavasti tuotosmallien selitystasetta. Rungon koko oli kuitenkin tilastollisesti erittäin merkitsevä selittäjä.

Hakkuuaineiston käsittelyn tuloksena saadut epäjohdonmukaisuudet sekä mallien huono selitystasaste lienevät seurausta monien toisistaan riippuvien tekijöiden yhteisvaikutuksesta: Hakkuutyössä on mukana kone-työtä selvemmin työntekijän vaikutus. Tämä sekoittaa suurista yksilökohtaisista eroista johtuen muiden vaikutusten riippuvai-



Kuva 2. Tilastoaineistosta lasketut hakkuutuotokset.

Fig. 2. Output in logging based on statistical data.

1 = Uudet hakkuumenetelmät.
1 = New manual methods in logging.
2 = Tavanomaiset hakkuumenetelmät.
2 = Normal manual methods in logging.

suuksia. Jotta hakkuutuotostilastoja voitaisiin käyttää esitetyllä tavalla ja tulokset olisivat luotettavia, on aineiston oltava erittäin laaja ja sisällettävä tietynasteista hakkuumiesten luokittelua. — Seuraavassa esitettävät hakkuuaineiston käsittelytulokset ovat käsiteltävä lähinnä epätydyttävien tulosten esittelyä.

Perinteisellä tavaralajimenetelmällä saatiin hakkuutuotoksen ja rungon koon välille seuraava riippuvuus:

$$y = 1,67x_1 + 0,81 \quad R^2 = 0,109 \text{ (kuva 2)}$$

Ensimmäisenä valinnaisena muuttujana tuli malliin neliö tukkien osuudesta kokonaishakkuumäärästä, mutta tällöin rungon koon t-arvo pieneni huomattavasti. Yhtälö sai muodon:

$$y = 0,188x_1 + 1,37x_3 + 0,99 \quad R^2 = 0,286$$

Kehittyneellä tavaralajimenetelmällä, jossa oli tynkäkarsinta ja silmävarainen katkenta tuli tuotoksen ja rungon koon välille riippuvuus:

$$y = 4,41x_1 + 1,10 \quad R^2 = 0,264 \text{ (kuva 2)}$$

Seuraavana selittäjänä tuli malliin tukkien osuus kokonaishakkuumäärästä, eli

$$y = 2,06x_1 + 2,16x_2 + 0,80 \quad R^2 = 0,556$$

Yhtälöissä y = hakkuutuotos työtunnissa, m^3/h
 x_1 = rungon koko, m^3
 x_2 = tukkien osuus kokonaishakkuumäärästä (sadasosa)
 x_3 = (—)²
 *** = regressiokerroin on tilastollisesti merkitsevä 0,1 % riskillä
 ** = — — — — — 1,0 % riskillä
 * = — — — — — 5,0 % riskillä
 R^2 = yhteiskorrelaatiokertoimen neliö eli selitystasaste.

Tukkien osuuden kokonaishakkuumäärästä ja rungon keskikoon välillä vallitsi aineistossa seuraava riippuvuus:

$$y = 0,38x + 0,194 \quad R^2 = 0,413, \text{ jossa}$$

y = rungon koko, m^3
 x = (tukkien osuus kokonaishakkuumäärästä)²

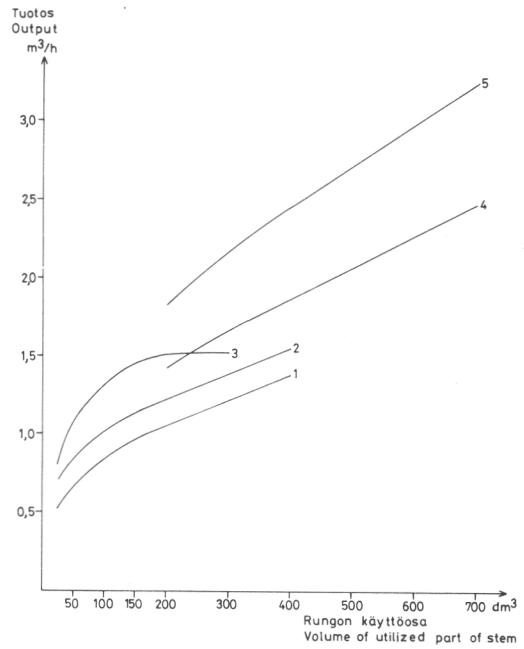
Tukkien osuus hakkuumäärästä (sadannes)	Rungon koko, m ³
0,20	0,209
0,40	0,255
0,60	0,330
0,80	0,437

Kuvassa 2 on esitetty hakkuutuotoksen riippuvuus leimikon rungon keskikoosta. Rungon keskikoon ollessa 0,2 m³, oli hakkuutuotos tavanomaisella hakkuumenetelmällä 1,1—1,2 m³/h ja uudella hakkuumenetelmällä vastaavasti noin 2,0 m³/h. Uudella hakkuumenetelmällä hakattaessa hakkuutuotos riippuu enemmän rungon koosta kuin tavanomaisella hakkuumenetelmällä.

22. Aikatutkimustuloksia

Perinteisellä tavalarajimenetelmällä suoritusta hakkuusta on olemassa laaja palkkaperusteiden määrittämistä varten kerätty aikatutkimus (K a h a l a 1969). Tutkimuksessa saadut tuotokset on esitetty kuvassa 3. Näiden ja tilastoaineistosta laskettujen tuotosten (kuva 2) vertailu ei ole paikallaan.

Ei nimittäin voida tietää sitä ovatko työntekijät olleet ominaisuuksiltaan samanlaiset hakkuutilaston eri hakkuumenetelmissä, ja työntekijän vaikutus tuotokseen on erittäin suuri. Voidaan kuitenkin todeta, että rungon koko on vaikuttanut hyvin saman suuntaisesti tilastoaineistossa ja K a h a l a n tutkimuksessa havukuitupuulla.



Kuva 3. Tavanomaisen tavalarajimenetelmähakkuun tuotokset (K a h a l a 1969).
1 = Kuusikuitupuu, 2 m, 2 = Mäntykuitupuu, 2 m, 3 = Koivukuitupuu, 2 m, 4 = Kuusitukki, kuitupuu 2 m, 5 = Mäntytukki, kuitupuu 2 m.

Fig. 3. Output of normal manual shortwood method.
1 = Spruce cordwood, 2 = Pine cordwood, 3 = Birch cordwood, 4 = Spruce log, cordwood 2 m, 5 = Pine log, cordwood 2 m.

3. PUUTAVARAN TEKO MONITOIMIKONEELLA

31. Prosessorit

Aineisto

Tässä selvityksessä käytettiin 699 havainnon tilastoaineistoa, joka oli kerätty metsäteollisuusyritysten koneseurantatiedoista sekä Metsätehon julkaisemista tuotostilastoista. Aineisto käsitti tietoja kuudesta erimerkkisestä prosessorista. Konekohtaisten havaintojen määrä oli 65—185 kappaletta. Havainnot olivat leimikoittaisia sekä kuukausittaisia ja vuosittaisia keskimääräistietoja vuosilta 1972—77.

Muuttujina käytetyissä tilastoissa olivat havaintovuosi, pääkäyttötuntituotos kuutio-

metreissä ja runkoina tunnissa, maastoluokka, leimikon tiheys ja järeys (= kuutiomäärän ja puiden lukumäärän osamäärä), koneiden vuotuinen käyttömäärä, aikajakauma, käyttöaste sekä omistaja. Aikajakaumassa käyttöaika oli jaettu pääkäyttöaikaan ja muuhun käyttöaikaan sekä keskeytykset korjauksiin, huoltoihin ja muihin keskeytyksiin.

Korjuuolosuhteet

Monitoimikonetyömailla oli korjattujen leimikoiden keskimääräinen järeys 0,29 m³ (hajonta 0,14 m³). Keskimääräinen leimikon tiheys oli 580 runkoa/ha (hajonta 198

runkoa/ha). Leimikon järeyden ja tiheyden välillä vallitsi seuraava riippuvuus:

$$y = 556,6x_6 + 639,2 \quad R^2 = 0,131$$

y = tiheys, runkoa/ha
 x_6 = leimikon järeyden neliö, m²

Yhtälön avulla lasketut leimikon tiheydet yleisimmillä järeyksillä ovat:

Järeys, m ²	Tiheys, runkoa/ha
0,20	617
0,30	589
0,40	550
0,50	500

Maastoluokka monitoimikonetyömailla oli keskimäärin 1,6 (hajonta 0,7).

Ajankäyttö

Käyttöaste oli prosessoreilla konemerkitäin 61—77 %. Pääkäyttöaika oli 56—73 % työajasta. Keskeytysten osuudet työajasta olivat 23—39 %. Prosessoreiden merkkikohdainen ajankäyttöjakauma on esitetty taulukossa 1.

Ajankäytössä oli selvä ero urakoitsijoiden ja metsäteollisuusyritysten omistamien koneiden välillä. Keskimääräinen käyttöaste oli urakoitsijoiden koneilla 72 % (hajonta 12 %) ja metsäteollisuusyritysten koneilla 57 % (hajonta 15 %). Keskiarvo oli 66 % (hajonta 15 %). Omistajaryhmittäinen ajankäyttöjakauma selviää seuraavasta asetelmasta.

Taulukko 1. Prosessoreiden ajankäyttöjakauma.

Table 1. Breakdown of working time for different makes of processor.

	Prossessorin merkki — Make of processor										
	Pika 50		Pika 52		Valmet		Kockums		Lokomo-Ösa		Tvigg
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Käyttöaika — Effective time											
— pääkäyttöaika — main effective time	63		65		67		61		66		77
— muu käyttöaika — other effective time	59	17	62	13	62	10	56	15	59	15	73
Keskeytykset — Delays											
— korjaus — repairs	4	4	3	3	5	6	5	7	7	9	4
— huolto — servicing	37		35		33		39		34		23
— muu keskeytys — other delays	22	10	24	12	20	9	20	12	14	11	13
Työaika yhteensä — Working time, total	8	4	7	5	11	5	11	6	14	9	6
	7	8	4	6	2	4	8	10	6	9	4
	100		100		100		100		100		100

Koneen omistaja
 Urakoitsija Metsäteollisuusyritys
 Osuus työajasta, %

	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Käyttöaika	72		57	
— pääkäyttöaika	68	11	52	15
— muu käyttöaika	4	4	5	7
Keskeytykset	28		43	
— korjaus	17	9	23	15
— huolto	8	5	12	7
— muu keskeytys	3	6	8	10
Työaika yhteensä	100		100	
Havaintoja, kpl	361		417	

Urakoitsijoiden prosessoreiden parempi käyttöaste on seurausta niiden pienemmästä keskeytysosuudesta. Metsäteollisuusyritysten koneilla oli korjausten osuus keskimäärin 35 %, huollon 50 % ja muiden keskeytysten osuus 167 % suurempi kuin urakoitsijoiden koneilla.

Edellä selostetut ajankäyttötulokset on esitetty sellaisena kun ne on saatu tilastoista. Urakoitsijoiden ja metsäteollisuusyritysten omistamien koneiden ajankäytön kirjauksissa voi kuitenkin olla yrityskohtaisia eroja, joiden vaikutus on tilastoa käsiteltäessä mahdoton ottaa huomioon. Erisuuruiset käyttöasteet eri omistajaryhmillä eivät vaikuta jäljempänä esitettävien tuotosten suuruuteen, sillä ne on laskettu pääkäyttöaikaa kohti.

Tuotokset

Tuotokset pääkäyttötuntia kohti laskettiin kullekin prosessorimerkille erikseen. Muutujiksi valittiin leimikon järeys, järeyden ne-

liö ja luonnollinen logaritmi, leimikon tiheys, tiheyden neliö ja luonnollinen logaritmi, havaintovuosi, havaintovuoden neliö ja luonnollinen logaritmi, käyttöaste sekä omistaja. Tulokset esitetään seuraavassa merkkikohtaisina.

Pika 50:n tuotos

Valikoivassa regressioanalyyssissä tuli leimikon järeys parhaimmaksi Pika 50:n tuotosta selittäväksi tekijäksi (vaihe 1). Seuraavina tulivat malliin mukaan havaintovuosi (vaihe 2), omistaja (vaihe 3) ja järeyden luonnollinen logaritmi (vaihe 4). Seuraavilla malliin tulleilla muuttujilla oli itseisarvoltaan pieni t-arvo, eivätkä ne olisi nostaneet selitystasetta mainittavasti, joten niitä ei otettu mukaan. Samoja kriteerejä malliin tulevien muuttujien valinnassa käytettiin muillakin koneilla.

$$\text{Vaihe 1. } y = 23,9x_1 + 4,6 \quad R^2 = 0,519$$

$$\text{Vaihe 2. } y = 22,0x_1 + 0,57x_4 + 3,2 \quad R^2 = 0,586$$

$$\text{Vaihe 3. } y = 20,4x_1 + 0,44x_4 - 1,1x_3 + 4,9 \quad R^2 = 0,600$$

$$\text{Vaihe 4. } y = 24,7x_1 + 0,41x_4 - 1,14x_3 - 1,00x_5 + 2,4 \quad R^2 = 0,612$$

y = tuotos, m³/h
x₁ = järeys, m³
x₃ = omistaja (urakoitsija = 0, metsäteollisuusyritys = 1)
x₄ = havaintovuosi (vuosiluvun viimeinen numero, esim. 1975 = 5)
x₅ = ln(järeys), m³

Pika 52:n tuotos

Pika 52:n tuotosta selitti parhaiten järeyden neliö (vaihe 1). Seuraavina tulivat malliin järeyden luonnollinen logaritmi (vaihe 2), järeys (vaihe 3) ja havaintovuoden luonnollinen logaritmi (vaihe 4).

$$\text{Vaihe 1. } y = 25,2x_6 + 10,6 \quad R^2 = 0,356$$

$$\text{Vaihe 2. } y = 30,1x_6 - 0,51x_5 + 9,3 \quad R^2 = 0,389$$

$$\text{Vaihe 3. } y = -23,9x_6 - 2,05x_5 + 45,3x_1 - 0,9 \quad R^2 = 0,450$$

$$\text{Vaihe 4. } y = -28,0x_6 - 2,21x_5 + 49,5x_1 + 3,47x_9 - 7,6 \quad R^2 = 0,465$$

y = tuotos, m³/h
x₁ = järeys, m³
x₅ = ln(järeys), m³
x₆ = (järeys), m³
x₉ = ln(havaintovuosi)

Valmet prosessorin tuotos

Valmet prosessorin tuotosta selitti parhaiten omistaja (vaihe 1). Seuraavina tulivat malliin järeyden luonnollinen logaritmi (vaihe 2) ja tiheyden neliö (vaihe 3).

$$\text{Vaihe 1. } y = -3,03x_3 + 16,4 \quad R^2 = 0,214$$

$$\text{Vaihe 2. } y = -3,30x_3 + 5,30x_5 + 22,7 \quad R^2 = 0,371$$

$$\text{Vaihe 3. } y = -2,60x_3 + 6,65x_5 + 0,000003x_8 + 22,6 \quad R^2 = 0,415$$

y = tuotos, m³/h
x₃ = omistaja
x₅ = ln(järeys), m³
x₈ = (tiheys)², runkoa/ha

Kockums 837-78 ATK prosessorin tuotos

Kockums prosessorin tuotosta selitti parhaiten leimikon järeys (vaihe 1). Seuraavina selittäjinä tulivat malliin tiheyden luonnollinen logaritmi (vaihe 2), järeyden luonnollinen logaritmi (vaihe 3) sekä havaintovuoden luonnollinen logaritmi (vaihe 4).

$$\text{Vaihe 1. } y = 27,7x_1 + 13,6 \quad R^2 = 0,488$$

$$\text{Vaihe 2. } y = 31,0x_1 + 3,75x_7 - 11,5 \quad R^2 = 0,514$$

$$\text{Vaihe 3. } y = 39,1x_1 + 4,92x_7 - 1,37x_5 - 23,5 \quad R^2 = 0,551$$

$$\text{Vaihe 4. } y = 41,6x_1 + 6,56x_7 - 1,43x_5 - 7,52x_9 - 22,1 \quad R^2 = 0,586$$

y = tuotos, m³/h
x₁ = järeys, m³
x₅ = ln(järeys), m³
x₇ = ln(tiheys), runkoa/ha
x₉ = ln(havaintovuosi)

Lokomo-Ösa 705 prosessorin tuotos

Lokomo-Ösa prosessorin tuotosta selitti parhaiten leimikon järeys (vaihe 1). Seuraavina selittäjinä tulivat malliin omistaja (vaihe 2) sekä havaintovuoden luonnollinen logaritmi (vaihe 3).

Vaihe 1. $y = 19,1x_1 + 13,2 \quad R^2 = 0,139$

Vaihe 2. $y = 14,7x_1 + 4,29x_3 + 11,6 \quad R^2 = 0,203$

Vaihe 3. $y = 14,3x_1 + 4,50x_3 + 5,65x_9 + 1,9$
 $R^2 = 0,256$

y = tuotos, m³/h
 x_1 = järeys, m³
 x_3 = omistaja
 x_9 = ln (havaintovuosi)

Tvigg-proessorin tuotos

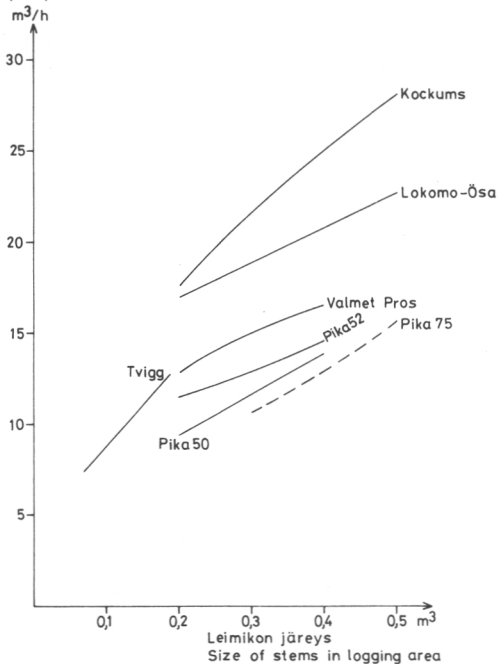
Tvigg-proessorin tuotosta selitti parhaiten leimikon järeys (vaihe 1). Muita selittäjiä ei hyväksytty malliin alhaisesta t-arvosta johtuen.

Vaihe 1. $y = 43,8x_1 + 4,5 \quad R^2 = 0,410$

y = tuotos, m³/h
 x_1 = järeys, m³

Kuvassa 4 on esitetty tutkittujen monitoimikoneiden tuotosten riippuvuus leimikon järeystä. Tuotokset on laskettu Valmet prosessorille toisen vaiheen yhtälöstä, muille

Pääkäyttötuntituotos
 Output per main effective hour



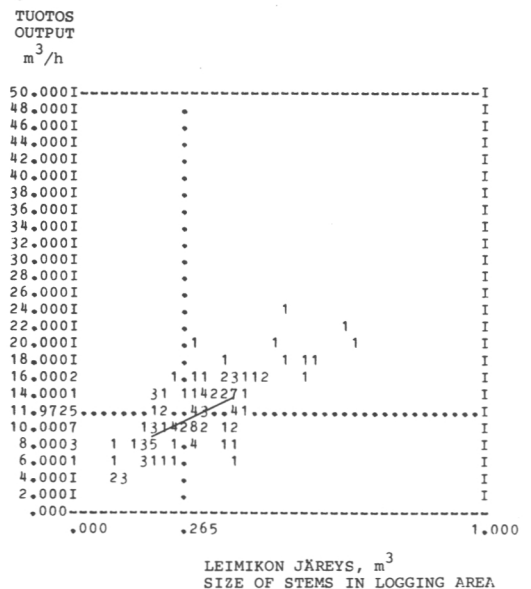
Kuva 4. Monitoimikoneiden tilastoihin perustuvat tuotokset.
 Fig. 4. Output of different makes of processor based on statistical data.

koneille sen sijaan ensimmäisen vaiheen yhtälöstä. Näin ollen järeyttä lukuun ottamatta muut tekijät ovat kunkin koneen keskiarvoja. Kuvissa 5—10 on esitetty samat tuotoskäyrät koordinaatistossa, johon on merkitty tuotosten havaintopisteet.

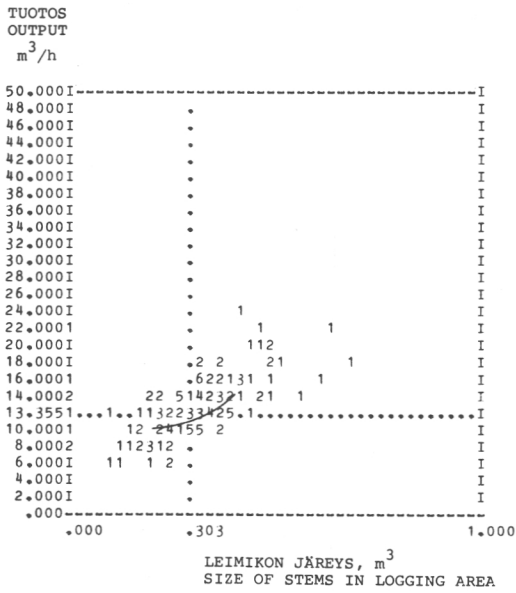
Eri tekijöiden vaikutus tuotoksiin

Seuraavassa käsitellään leimikon tiheyden, omistajan ja havaintovuoden vaikutusta prosessoreiden tuotoksiin. Konekohtaisesti esitetään vain ne tekijät, joiden vaikutus tuotoksiin oli merkittävä vähintään 5 % riskillä. Muut tekijät olivat kussakin tarkastelussa vakioita.

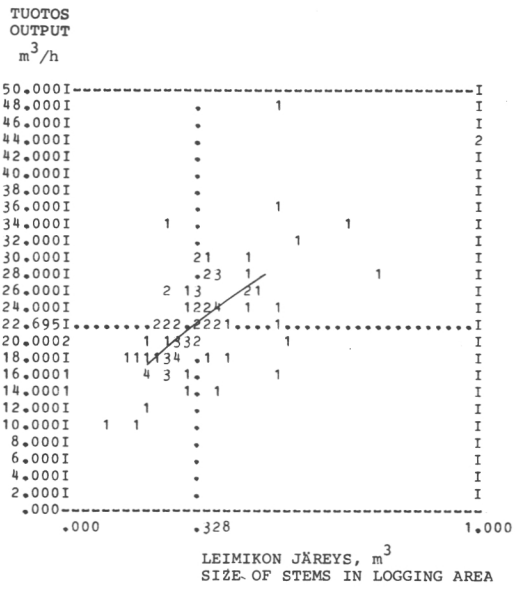
Leimikon tiheyden vaikutus tuotoksiin tuli merkittäväksi ainoastaan Valmet ja Kockums prosessoreilla. Muilla koneilla ei tiheyksissä ollut todennäköisesti riittävästi vaihtelua, jotta se olisi tullut näkyviin mallissa. Valmet prosessorilla nosti leimikon tiheyden muutos 400 rungosta 800 runkoon hehtaarilla tuotosta 10 %. Kockums prosessorilla oli vastaava nousu 11 %. Suhteelliset tuotokset muuttuivat tiheyden mukana seuraavasti.



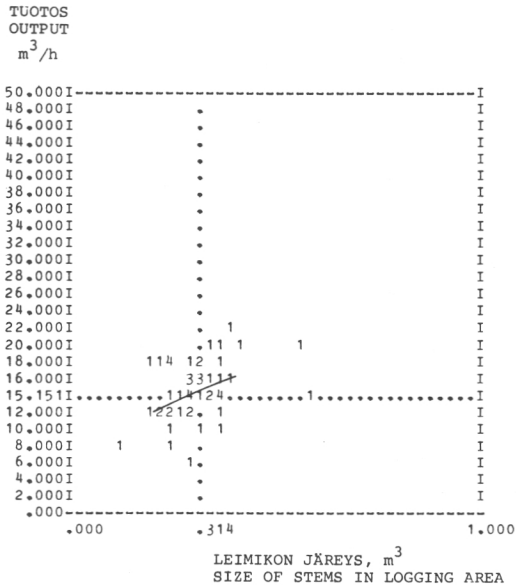
Kuva 5. Pika 50 prosessorin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.
 Fig. 5. Mean output of Pika 50 processor and observations.



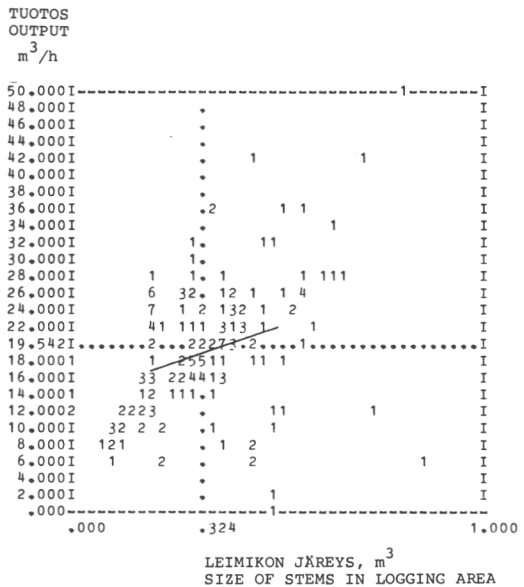
Kuva 6. Pika 52 prosessorin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.
Fig. 6. Mean output of Pika 52 processor and observations.



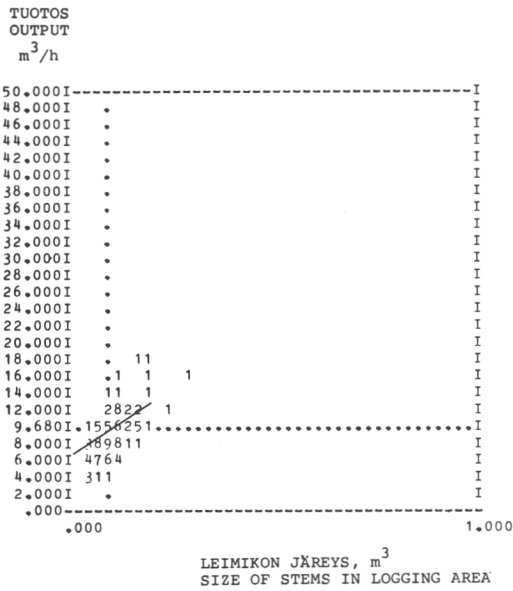
Kuva 8. Kockums prosessorin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.
Fig. 8. Mean output of Kockums processor and observations.



Kuva 7. Valmet prosessorin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.
Fig. 7. Mean output of Valmet processor and observations.



Kuva 9. Lokomo-Ösa prosessorin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.
Fig. 9. Mean output of Lokomo-Ösa processor and observations.



Kuva 10. Tvig prosessorin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.
Fig. 10. Mean output of Tvig processor and observations.

Leimikon tiheys runkoa/ha	Suhteellinen tuotos, %	
	Valmet	Kockums
400	96	94
500	98	97
600	100	100
700	103	103
800	106	105

Leimikon tiheyden vaikutus tuotoksiin oli rungon koon ollessa 0,30 m³ Valmet prosessorilla ja Kockums prosessorilla samaa suuruusluokkaa kuin viimeisimmässä aikatutkimuksessa (M y l l y n i e m i 1977).

Omistajan vaikutus tuotoksiin tuli merkittäväksi Pika 50:llä sekä Valmet ja Lokomo-Ösa prosessoreilla. Pika 50:llä oli urakoitsijoiden omistamien koneiden tuotos keskimäärin 9 % suurempi kuin metsäteollisuusyritysten omilla koneilla. Valmet prosessorilla oli vastaava ero 17 %. Lokomo-Ösa prosessorilla oli sen sijaan urakoitsijoiden koneiden tuotokset keskimäärin 23 % huonommat kuin metsäteollisuusyritysten omilla koneilla. Omistajalla ei tulosten perusteella näytä olevan tietynsuuntaista vaikutusta tuotosten suuruuteen. Vaihtelua aiheuttaa mm. koneiden ikä ja kunto sekä kuljettajan työtaito.

Havaintovuosi tuli merkittäväksi selittäjäksi Pika 50:llä ja 52:lla sekä Kockums ja

Lokomo-Ösa prosessoreilla. Tuotokset nousivat vuosittain kaikilla näillä koneilla. Seuraavassa asetelmassa on esitetty vuotuiset tuotoksen muutokset.

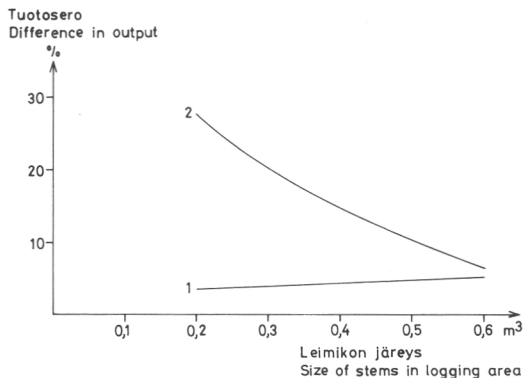
	Tuotoksen nousu vuodessa, %	Havaintoja vuosilta
Pika 50	4	1970—77
Pika 52	5—8	1973—77
Kockums	5—7	1974—77
Lokomo-Ösa	4—5	1975—77

Tuotoksen keskimääräinen vuotuinen nousu oli noin 5 %. Tulosta on pidettävä lähinnä suuntaa antavana, sillä eri konemerkkien vuosien tiedot eivät aina ole samoista koneista.

Saatujen tuotosten vertailu

Tässä selvityksessä saatuja tuotoksia ei voida suoraan verrata aikatutkimustuloksissa esitettäviin tuotoksiin, sillä aikatutkimustuotokset lasketaan tietynkokoista runkoa kohti. Tässä selvityksessä on puiden kokoa kuvaava tekijä leimikon järeys.

Aluksi tarkastellaan näiden erilaisten puun kokoa ilmaisevien suureiden vaikutusta tuotokseen. Tarkastelu suoritettiin isoilla prosessoreilla (Kockums ja Lokomo-Ösa). Sitä varten määritettiin 15:lle monitoimikoneilla tapahtuvaan puunkorjuuseen tyypillisesti soveltuvalle leimikolle tuotokset leimikon järeyden perusteella aikatutkimustiedoista. Samoilte leimikoille laskettiin samojen aikatutkimustietojen perusteella tuotokset leimikoiden runkolukusarjojen mukaan. Leimikon korjuuseen kulunut aika oli siis kaikkien leimikon yksittäisiin puihin käytettyjen aikojen summa. Näin saatujen tuotosten vertailu osoitti, että leimikon järeyden perusteella saatu tuotos oli keskimäärin 5 % (hajonta 2 %) pienempi kuin runkolukusarjojen perusteella laskettu tuotos (kuva 11, käyrä 1). Näin ollen aikatutkimusten tuotos-taso on tilastotuotoksiin verrattuna noin 5 % alhaisempi isoilla prosessoreilla. Vertailussa oletettiin monitoimikoneiden käsittelevän kaikki leimikon puut läpimittaluokasta 7 cm lähtien. Mikäli monitoimikoneet eivät käsittele läpimittaluokkia 7 ja 9 cm, olisi tuotos ollut 10—20 % parempi yleisimmässä rungonkoluokassa (kuva 11, käyrä 2). Tuotosero on sitä suurempi, mitä pienempi on leimikon järeys. Tämä johtuu siitä, että



Kuva 11. Tuotoksen riippuvuus järeyskäsitteestä. Nollataso tarkoittaa tuotosta yksittäisen rungon koon funktiona. Käyrä 1 tarkoittaa tuotosta, kun rungon koko määritellään hehtaarilla olevien puiden tilavuuden ja runkoluvun suhteeksi. Käyrä 2 tarkoittaa tuotosta silloin, kun rinnankorkeusläpimitaltaan 7–9 cm olevat puut jätetään käsittelemättä.

Fig. 11. The effect of the concept of stem size on the output. The zero level represents the output as a function of the size of individual stem. Curve 1 is the output as the size of stems is determined by dividing the volume of trees per ha by the number of stems. Curve 2 represents the effect of omitting the trees with d_{bh} 7–9 cm from logging.

järeydeltään pienissä leimikoissa on 7 ja 9 cm läpimittaluokkien puiden osuus yleensä suurempi kuin järeissä leimikoissa. Käyrien 1 ja 2 väli osoittaa tuotoksen suhteellisen parantumisen, mikäli monitoimikoneilla ei käsitellä läpimittaluokkien 7 ja 9 cm puita. Esimerkiksi leimikon järeyden ollessa 0,30 m³ on ison prosessorin tuotos 15 % parempi mikäli edellä mainitut pienet puut jätetään käsittelemättä monitoimikoneella. Tulos perustuu varsin pieneen leimikkoaineistoon ja yhteen konetyyppiin, joten saatuja tietoja on syytä pitää lähinnä suuntaa antavina.

Tässä selvityksessä saadut tuotokset ovat hyvin lähellä Metsätehon puunkorjuun kehitysnusteessa (Mikkonen ym. 1975) esitettyjä aikatutkimuksiin perustuvia monitoimikoneiden tuotoksia. Tämän selvityksen Pika 50:n ja 52:n sekä Valmet-prosessorin tuotuskäyrien keskiarvo on 0,30 m³:n leimikon järeydessä ennusteen pienen prosessorin käyrällä. Järeiden kasvaessa on tuotosten nousu sen sijaan tämän selvityksen mukaan kyseisillä koneilla lievempää kuin en-

nusteessa. Tvigg-prosessorin tuotos on puolestaan selvästi parempi kuin ennusteen pienten prosessoreiden tuotos. Kockums ja Lokomo-Ösa prosessoreiden tuotokset ovat varsin lähellä ennusteessa esitettyjä ison prosessorin tuotoksia leimikon järeyden ollessa 0,30 m³. Leimikon järeytyessä on tuotoksen kasvu tämän selvityksen mukaan selvästi pienempää kuin Metsätehon ennusteessa.

Puutavaran monitoimikoneilla tapahtuvaa lajittelua selvittelevässä aikatutkimuksessa (Mikkonen 1977) on esitetty Pika 52:n sekä Valmet, Kockums ja Lokomo-Ösa prosessoreiden tuotokset. Ne ovat hieman tämän selvityksen tuotoksia alhaisemmat. Tuotuskäyrät nousevat myös Mikkosella jyrkemmin kuin tässä selvityksessä leimikon järeytyessä.

Työvaikeustekijöiden vaikutusta monitoimikoneiden tuotoksiin selvittelevässä aikatutkimuksessa Myllyniemi (1977) on mitannut Valmet, Tvigg, Kockums ja Lokomo-Ösa prosessoreiden tuotoksia. Tutkimuksissa saadut tuotokset ovat suuremmat kuin tämän selvityksen tuotokset. Pienillä prosessoreilla ero ei ole kovin suuri, isoilla prosessoreilla sen sijaan huomattava erityisesti suurilla järeyksillä.

Tässä selvityksessä saatuja tuotoksia ja aikatutkimustuotoksia verrattaessa havaittiin kautta linjan aikatutkimustuotosten suuren tuvan tilastotuotoksia enemmän järeissä leimikoissa. Tämä johtuu ainakin osittain siitä, että aikatutkimustuloksissa tuotokset esitetään leimikon järeyden funktiona leimikon tiheyden ollessa vakio. Tiheyden vaikutus tuotoksiin on laskettavissa yleensä tutkimusjulkaisuissa ilmoitettavien perusteiden mukaisesti. Tilastotuotoksissa tulee leimikon tiheys sen sijaan huomioiduksi leimikon järeyden muuttuessa, eli tuotos esitetään järeyden ja tiheyden funktiona. Kun keskimääräistä järeämmissä leimikoissa on yleensä keskimääräistä alhaisempi tiheys, saadaan järeyden funktiona suurempi tuotos kuin sekä järeyden että tiheyden funktiona.

Päätelmiä

Seuraavassa tarkastellaan tilastoaineiston perusteella isojen ja pienten prosessoreiden käytön taloudellisuutta. Vastaava tarkastelu aikatutkimustulosten perusteella on tehty Myllyniemen (1977) tutkimuksessa. Siinä laskettuja tuntikustannuksia, isoilla

218 mk/h ja pienillä 165 mk/h, on käytetty myös tässä tarkastelussa. Isoihin prosessoreihin laskettiin Kockums ja Lokomo-Ösa, pieniin puolestaan Pika 52 ja Valmet prosessori. Tvigge prosessori jätettiin pois, koska siitä ei ollut havaintoja vertailussa käytetyiltä leimikon järeyksiltä. Tarkastelun suhteelliset tulokset on esitetty seuraavassa asetelmassa.

	Pienet prosessorit			Isot prosessorit		
	Leimikon järeys, m ³					
	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30	0,40
Käyttötuntituotos	87	100	111	124	148	164
Tuntikustannus	100	100	100	132	132	132
Yksikkökustannus	114	100	90	106	89	80

Voidaan todeta, että isojen prosessoreiden käsittelemä puutavara on tilastoaineiston tuotoksilla ja käytetyillä tuntikustannuksilla yksikkökustannuksiltaan 8—11 % halvempaa kuin pienten prosessoreiden käsittelemä puutavara vastaavan järeyksissä leimikoissa. Samansuuntaiseen tulokseen päätyi myös Myllyniemi tutkimuksessaan. Hän tosin sai kustannuserot suuremmiksi, mikä johtui isojen prosessoreiden suuremmista tuotoksista. Isojen prosessoreiden edullisuutta lisää vielä puutavaran metsäkuljetuksen parempi tuotos niiden jäljiltä (Tynekynen 1976).

32. Harvesterit

Aineisto

Pika 75:n tuotokset laskettiin 65 havainnon tilastoaineistosta. Havainnot olivat vuosilta 1975—77, pääosa vuodelta 1975. Ne koostuivat leimikoittaisista, kuukausittaisista ja vuosittaisista keskimääräistiedoista. Aineisto kerättiin metsäteollisuusyritysten koneeurantatiedoista sekä Metsätehon julkaisemista tuotostilastoista.

Muuttujina käytetyssä tilastoaineistossa olivat havaintovuosi, pääkäyttötuntituotos, maastoluokka, leimikon tiheys, leimikon järeys, koneiden vuotuinen käyttömäärä, aikajakautuma, käyttöaste sekä omistaja. Aikajakautumassa käyttöaika oli jaettu pääkäyttöaikaan ja muuhun käyttöaikaan sekä keskeytykset korjauksiin, huoltoihin ja muihin keskeytyksiin.

Korjuulosuhteet

Keskimääräinen leimikon järeys oli aineistossa 0,36 m³ (hajonta 0,09 m³). Leimikoiden keskitiheys oli 611 runkoa/ha (hajonta 152 runkoa/ha).

Ajankäyttö

Pika 75:n käyttöaste oli tilastoaineistossa urakoitsijoiden omistamilla koneilla keskimäärin 56 % (hajonta 7 %). Metsäteollisuusyritysten omilla koneilla käyttöaste oli keskimäärin 47 % (hajonta 16 %). Ajankäyttö jakautui seuraavasti:

	Koneen omistaja			
	Urakoitsija		Metsäteollisuusyritys	
	Osuus työajasta, %			
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Käyttöaika	56		47	
— pääkäyttöaika	54	6	42	16
— muu käyttöaika	2	2	5	6
Keskeytykset	44		53	
— korjaus	33	3	32	17
— huolto	9	1	12	7
— muu keskeytys	2	1	9	2
Työaika yhteensä	100		100	
Havaintoja, kpl	7		58	

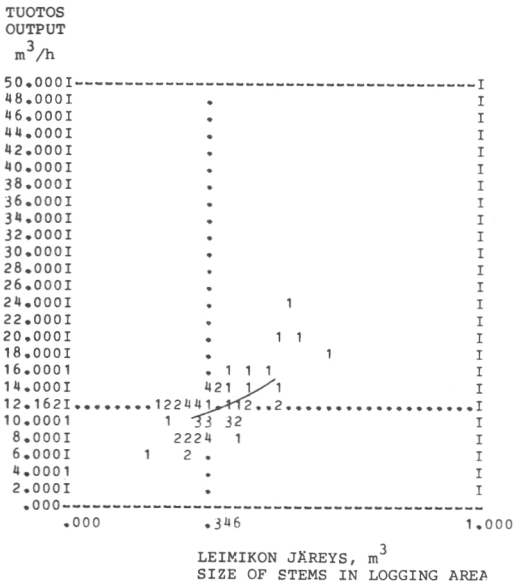
Urakoitsijoiden koneiden parempi käyttöaste johtui lähinnä muun käyttöajan ja muiden keskeytysten pienemmästä osuudesta. Tämä voi tosin olla seurausta tilastointieroista.

Verraten alhainen käyttöaste johtunee tilastoaineiston ajoittumisesta vaiheeseen, jolloin käytössä oli 0-sarjan koneita. Varsinaisilla sarjakoneilla on päästy sen sijaan parempiin käyttöasteisiin. Vuodelta 1977 kerätyssä 6:n koneen vertailuaineistossa oli keskimääräinen käyttöaste 65 %. Käyttöasteen erilaisuus ei kuitenkaan vaikuta tuotosten suuruuteen, sillä ne on laskettu pääkäyttöaikaa kohti.

Tuotokset

Tuotoksen laskennassa valittiin muuttujiksi leimikon järeys, järeiden neliö ja luonnollinen logaritmi, leimikon tiheys, tiheyden neliö ja luonnollinen logaritmi, havaintovuosi, havaintovuoden neliö ja luonnollinen logaritmi, keskeytysprosentti, keskeytysprosentin neliö ja luonnollinen logaritmi, käyttöaste sekä omistaja.

Valikoivassa regressioanalyysissä leimikon



Kuva 12. Pika 75 harvesterin keskituotos ja tuotoksen havaintopisteet.

Fig. 12. Mean output of Pika 75 harvester and the observations.

järeuden neliö tuli parhaimmaksi yksittäiseksi tuotoksen selittäjäksi (vaihe 1). Seuraavana tuli malliin havaintovuoden luonnollinen logaritmi (vaihe 2). Muiden muuttujien

t-arvot olivat malliin tullessaan itseisarvoiltaan pieniä, eivätkä ne olisi nostaneet selitystasetta mainittavasti, joten niitä ei otettu mukaan.

$$\text{Vaihe 1. } y = 31,1x_6 + 7,9 \quad R^2 = 0,404 \text{ (kuva 4, 12)}$$

$$\text{Vaihe 2. } y = 32,8x_6 + 10,0x_9 - 9,0 \quad R^2 = 0,485$$

$$y = \text{tuotos, m}^3/\text{h}$$

$$x_6 = (\text{leimikon järeys})^2, \text{ m}^3$$

$$x_9 = \ln(\text{havaintovuosi})$$

Pika 75 harvesterin tuotos on noussut havaintoaikana (1975—77) keskimäärin 12 % vuodessa. Tämä lienee johtunut paljolti kone tyypin teknisestä kehittämisestä tänä ajanjaksona. Leimikon tiheyden ja omistajan vaikutusta Pika 75:n tuotoksiin ei sen sijaan saatu esille käytetystä aineistosta.

Saatujen tuotosten vertailu

Tässä selvityksessä saadut tuotokset ovat hyvin lähellä Metsätehon puunkorjuuennusteissa (M i k k o n e n ym. 1975) sekä Pika 75:n prototyyppitestauksessa (J u k k o l a ja T y n k y n e n 1974) esitettyjä tuotoksia. Sen sijaan Metsätehon pikatestauksessa (P e l t o l a 1976) on harvesterilla saatu selvästi suurempi tuotos.

4. METSÄKULJETUS KUORMATRAKTORILLA

41. Aineisto

Kuormatraktoreiden tilastoaineistossa käytettiin suomalaisten tietojen lisäksi myös ruotsalaisia tilastotietoja. Metsätehon julkaisemat tuotostilastotiedot olivat vuosilta 1970—76 ja Skogs- och lantarbetsgivareför- eningenin (SLA) tilastot vuosilta 1968—75.

Aineisto käsitti 959:n kuormatraktorin vuotuiset tai puolivuotiset keskimääräistuotokset. Kun laskennassa käytettiin kuitenkin kunkin traktorimerkin vuotuista keskiarvoa, saatiin havaintoja 79 kappaletta. Eri kuormatraktorimerkkejä oli aineistossa 23 kappaletta. Muuttujina aineistossa olivat traktorimerkki, havaintovuosi, keskimääräistuotos sekä yli 15 minuutin keskeytysten osuus. Koska suurimmassa osassa tämän aineiston

tiedoissa ei ollut korjuuolosuhdetietoja, laskettiin siitä vain kuljetustuotokseen vaikuttavat traktorikohtaiset tekijät.

Korjuuteknisten olosuhteiden vaikutus tuotoksiin saatiin aineiston osana olleista Metsätehon tuotostilastotiedoista. Tämä aineisto käsitti 52 traktorin usean kuukauden keskimääräistuotokset. Eri traktorimerkkejä oli aineistossa 12 kappaletta. Tilastoista saatiin tiedot traktorimerkeistä, havaintovuodesta sekä keskimääräisestä tuotoksesta, kuljetusmatkasta, kuorman koosta, kuljetuksen maastoluokasta ja yli 15 minuutin keskeytysten osuudesta.

42. Kuormatraktoreiden luokitus

Kuormatraktorit luokiteltiin tässä selvi-

tyksessä kolmeen kokoluokkaan moottoritehon perusteella. Pienten traktoreiden teho oli alle 50 kW (~70 hv), keskikokoisten 50—75 kW (~70—100 hv) ja järeiden yli 75 kW (~100 hv). Luokitus vastaa suurimmaksi osaksi K a h a l a n (1974) käyttämää luokitusta. K a h a l a on käyttänyt luokittelussaan apuna jossakin määrin myös kantavuutta ja kokonaispainoa, mistä on aiheutunut hieman eroa pienten ja keskikokoisten traktoreiden rajatapauksissa. Tässä selvityksessä käytetty järeä luokka sisältää K a h a l a n järeät ja ylijäreät kuormatraktorit.

Traktoreiden keskimääräiset arvot eri järeysluokissa olivat seuraavat:

	Pienet	Keskikokoiset	Järeät
Moottoriteho, kW (hv)	43 (59)	60 (82)	100 (136)
Kantavuus, t	6,7	10,3	12,4
Massa tyhjänä, t	7,4	9,1	11,9
Massa kuormattuna, t	14,2	19,4	24,3
Lukumäärä, kpl	23	20	36

Käytetyssä luokituksessa oli tyypillinen pieni kuormatraktori Volvo SM 462, keskikokoinen Lokomo 909 ja Valmet 872 K sekä järeä Lokomo 928 ja Valmet 882 K.

43. Korjuuolosuhteet

Keskimääräinen ajomatka korjuuteknisiä olosuhteita sisältäneessä aineistossa oli 406 metriä (hajonta 116 m). Keskiajomatkat nousivat koneen järeyydessä. Metsäkuljetuksen maastoluokka oli keskimäärin 2,1 (hajonta 0,5). Maastoluokka ei ollut riippuvainen traktorin koosta. Kuormatraktoreiden kokoluokittaiset keskimääräistiedot on seuraavassa asetelmassa:

Kokoluokka	Keskiajomatka, m		Maastoluokka		Koneita, kpl
	\bar{x}	hajonta	\bar{x}	hajonta	
Pieni	324	34	2,1	0,5	7
Keskikokoinen	400	101	2,1	0,4	27
Järeä	446	140	2,1	0,5	18

44. Ajankäyttö

Työaikana tapahtuneiden yli 15 minuutin keskeytysten osuus 959 kuormatraktorin aineistossa oli keskimäärin 17 %. Ne käsittivät etupäässä koneen huoltoa ja korjausta. Keskeytysten osuus ei ollut riippuvainen koneen koosta eikä kuljetustuotoksesta.

45. Tuotokset

Traktorikohtaisten tekijöiden vaikutus tuotoksiin

Kuljetustuotokset laskettiin pääkäyttötuntia kohti. Muuttujiksi valittiin traktorikohtaisten tekijöiden laskennassa traktorimerkin teho, kantavuus, massa tyhjänä ja kuormattuna, kantavuuden ja kokonaispainon osamäärä, kokonaispainon ja moottoritehon osamäärä sekä kaikkien toiset potenssit ja luonnolliset logaritmit.

Valikoivaa regressioanalyysiä käytettäessä osoittautui parhaimmaksi yksittäiseksi tuotosta selittäväksi tekijäksi kuormatraktorin moottoriteho (vaihe 1). Seuraavina tulivat malliin mukaan kantavuuden ja kokonaispainon osamäärä (vaihe 2) sekä kantavuuden luonnollinen logaritmi (vaihe 3). Seuraavilla malliin tulleilla muuttujilla oli alhainen t-arvo, eivätkä ne olisi nostaneet selitysasetta mainittavasti.

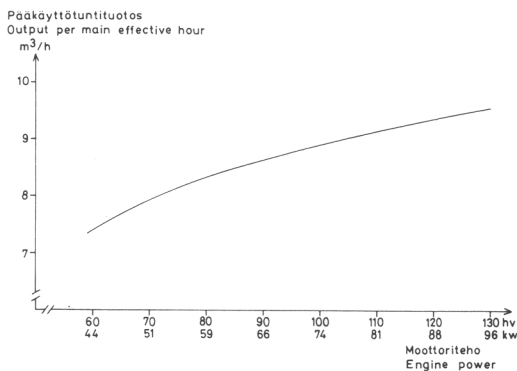
$$\text{Vaihe 1. } y = 0,291x_1 + 62,63 \quad R^2 = 0,398$$

$$\text{Vaihe 2. } y = 0,308x_1 - 66,16x_2 + 94,32 \quad R^2 = 0,435$$

$$\text{Vaihe 3. } y = 0,0260x_1 - 219,4x_2 + 44,01x_3 + 98,61 \quad R^2 = 0,534$$

(kuva 13)

y = tuotos, m³/h
 x_1 = moottoriteho, hv
 x_2 = kantavuus, kg/massa kuormattuna, kg
 x_3 = kantavuuden luonnollinen logaritmi, t



Kuva 13. Kuormatraktoreiden moottoritehon vaikutus tuotokseen.

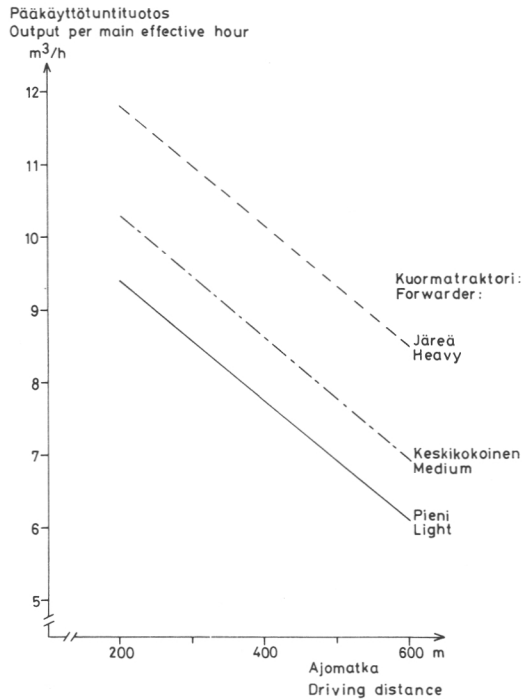
Fig. 13. Effect of engine power of forwarders on output.

Keskimääräinen kuljetustuotos oli pienellä 45 kW:n (~ 60 hv) tehoisella kuormatraktorilla 7,4 m³/h, keskikokoisella 63 kW:n (~ 85 hv) traktorilla 8,5 m³/h ja järeällä 96 kW:n (~ 130 hv) traktorilla 9,5 m³/h.

Korjuuteknisten tekijöiden vaikutus tuotokseen

Tuotokset laskettiin pääkäyttötuntia kohden. Muuttujina olivat traktorimerkin moottoriteho, kantavuus, massa tyhjänä ja kuormattuna, tilastovuosi, keskikuljetusmatka, keskimääräinen maastoluokka kantavuuden ja kokonaispainon osamäärä, kokonaispainon ja moottoritehon osamäärä sekä kaikkien toiset potenssit ja luonnolliset logaritmit.

Valikoivassa regressioanalyysissä osoittautui parhaaksi yksittäiseksi selittäjäksi edelleen moottoriteho (vaihe 1). Seuraavina tulivat malliin ajomatka (vaihe 2), kantavuuden ja kokonaispainon osamäärä (vaihe 3) sekä kokonaispainon ja moottoritehon osamäärä (vaihe 4).



Kuva 14. Ajomatkan vaikutus kuormatraktorin tuotokseen.
Fig. 14. Effect of driving distance on output of forwarders.

$$\text{Vaihe 1. } y = 0,237x_1 + 66,97 \quad R^2 = 0,095$$

$$\text{Vaihe 2. } y = 0,339x_1 - 0,0827x_4 + 90,23 \quad R^2 = 0,251 \text{ (kuva 14)}$$

$$\text{Vaihe 3. } y = 0,368x_1 - 0,0824x_4 - 114,38x_2 + 143,59 \quad R^2 = 0,362$$

$$\text{Vaihe 4. } y = 0,666x_1 - 0,0971x_4 - 260,3x_2 + 0,360x_5 + 117,50 \quad R^2 = 0,563$$

y = tuotos, m³/h

x₁ = moottoriteho, hv

x₂ = kantavuus, kg/massa kuormattuna, kg

x₄ = ajomatka, m

x₅ = kokonaispaino, kg/moottoriteho, hv

Pienen kuormatraktorin (teho 45 kW) tuotos 200 metrin kuljetusmatkalla oli 9,4 m³/h, 400 metrillä 7,7 m³/h ja 600 metrillä 6,1 m³/h. Keskikokoisella traktorilla (teho 63 kW) vastaavat tuotokset olivat 10,3, 8,6 ja 6,9 m³/h sekä järeällä traktorilla (teho 95 kW) 11,8, 10,1 ja 8,5 m³/h.

Aikatutkimuksiin perustuissa vastaavissa tutkimuksissa ovat tuotokset olleet suurempia kuin tässä selvityksessä. Sen sijaan kyselymenetelmällä kerätystä aineistosta (Mäkelä ja Teikari 1973) on päädytty pienillä traktoreilla 43 %, keskikokoisilla 26 % ja järeillä 12 % pienempiin tuotoksiin kuin tässä tutkimuksessa.

Erikokoisten traktoreiden suhteelliset kuljetustuotokset traktoriakohtaisessa aineistossa olivat tämän selvityksen mukaan seuraavat:

Kuormatraktori	Suhteellinen tuotos	
	Keskimäärin	Keskiajomatka huomioitu
Pienet (teho alle 50 kW)	87	81
Keskikokoiset (teho 50—75 kW)	100	100
Järeät (teho yli 75 kW)	112	117

Käytetyistä tilastoista ei käynyt ilmi keskimääräiset ajomatkat. Kun ajomatkan vaikutus tuotokseen tiedetään, voidaan tarkastella kuormatraktoreiden kokoluokkien erilaisten keskiajomatkojen vaikutusta tuotossuhteisiin. Jos oletetaan koko aineiston keskiajomatkojen olleen samat kuin korjuuteknisten tekijöiden aineistossa, olisi suhteellinen tuotos ollut 400 metrin keskiajomatalla järeällä kuormatraktorilla 5 % suurempi ja pienellä 6 % pienempi kuin ilman matkan huomioimista (ks. edellinen asetelma).

Eräiden muiden tutkimusten mukaan ovat tuotossuhteet seuraavat (K a h a l a

1974). Vertailussa on syytä muistaa pienet kuormatraktoreiden luokituserot.

	Kuormatraktorin koko			
	Pieni	Keskikokoinen	Järeä	Ylijäreä
— Metsätehon tiedotus 334 (K a h a l a 1974)	—	100	117	129
— Metsätehon tiedotus 319 (K a h a l a 1972)	76	100	127	—
— Metsätraktoreiden tuotos- ja kustannustilasto v. 1973 (Metsäteho)	69	100	128	—
— Työtehoseuran metsätiedotus 215	67	100	133	—
— SLA:n traktori-tilasto (v. 1973)	—	100	106	127

Tämän selvityksen tuotoserot ovat keskikokoisten ja järeiden kuormatraktoreiden osalta samat kuin K a h a l a n (1974) tutkimuksessa. Muissa suomalaisissa tutkimuksissa ovat tuotoserot sen sijaan olleet hieman suuremmat kuin tässä selvityksessä. Ruotsalaiset SLA:n tuotoserot ovat puolestaan hieman tämän selvityksen eroja pienemmät.

Seuraavassa esitetään saatujen traktori-kohtaisten tilastotuotosten vertailu sekä lyhyihin että laajoihin aikatutkimuksiin perustuviin tuotoksiin. Tyypillisinä lyhyinä aikatutkimuksina käytettiin Metsätehon pikatestauksia. Laajoina aikatutkimuksina pidettiin puolestaan K a h a l a n (1972, 1974) kuormatraktoritutkimuksia. Aikatutkimuksissa saadut tehotuotokset muunnettiin pääkäyttöaikatuohtokseksi käyttämällä alle 15 minuutin keskeytysten osuutena 10 %.

Lyhyiden aikatutkimusten tuotoksia (ajomatka 400 m) verrattiin saman traktorimerkin ja -mallin tilastotuotosten keskiarvoon. Verrattavia traktoreita oli 11 kappaletta. Aikatutkimustuotokset olivat yhtä poikkeusta lukuunottamatta suuremmat kuin vastaava tilastotuotos. Keskimääräinen ero oli 53 % (hajonta 41 %). Pienimmässä kokoluokassa aikatutkimustuotos oli keskimäärin 9 % (hajonta 6 %) suurempi kuin tilastotuotos. Keskikokoisilla traktoreilla ero oli 70 % (hajonta 41 %) ja järeillä vastaavasti 57 % (hajonta 41 %).

Pikatestausluonteisissa lyhyissä aikatutkimuksissa esitettävien tuotosten epäluotettavuus on ollut jo pitkään metsäammattimiesten tiedossa. Tämä selvitys vahvisti tämän käsityksen oikeellisuuden. Toisaalta ei pika-

testauksia ole tarkoitettukaan tuotosselvityksiksi, vaan antamaan teknisten tietojen lisäksi jonkinlainen karkea käsitys tuotostosta.

K a h a l a n laajoissa kuormatraktoriaikatutkimuksissa ei traktoreita ole käsitelty merkkikohtaisina, vaan tulokset on esitetty järeysluokittaisina. Keskikokoisten traktoreiden keskimääräinen tuotos on K a h a l a l l a 200—500 metrin kuljetusmatkoille keskimäärin 21 % suurempi kuin tämän selvityksen mukaan on 63 kW:n (~85 hv) tehoisen traktorin tuotos vastaavilla matkoilla. Järeiden traktoreiden tuotos on K a h a l a n mukaan puolestaan 26 % suurempi kuin 96 kW:n (~130 hv) tehoisen traktorin tuotos tässä selvityksessä.

Korjuuteknisiä tekijöitä selvitellessä tilastoaineistossa pienensi kuljetusmatkan pidentyminen 200 metristä 500 metriin tuotosta 2,5 m³/h. Pienillä traktoreilla tämä tuotoksen pienentyminen oli 27 %, keskikokoisilla 24 % ja järeillä 21 %. K a h a l a n (1974) tutkimuksessa oli kuljetusmatkan vaikutus hieman suurempi kuin tässä selvityksessä. Kuljetusmatkan pidentyessä 200 metristä 500 metriin pieneni tuotos K a h a l a l l a keskikokoisilla kuormatraktoreilla 30 % ja järeillä 29 %.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty traktoreiden keskimääräistuotosten suhteet eri kuljetusmatkoilla.

Kuljetusmatka, m	Tämä selvitys	Kahala (1974)	Kahala (1972)
200	100	100	100
400	84	78	81
500	76	71	74

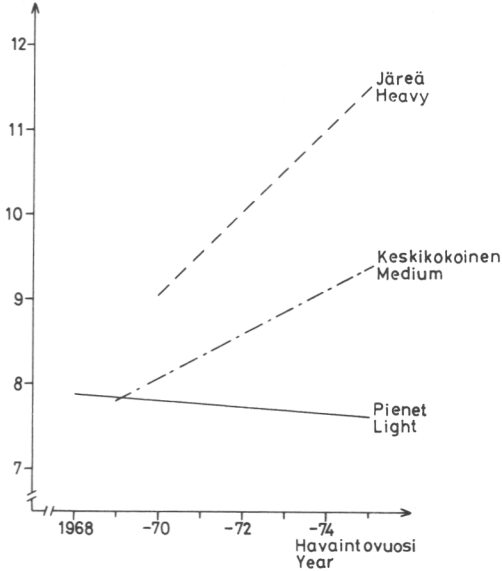
Tämän selvityksen tulokset vastaavat varsin hyvin K a h a l a n esittämiä tuloksia.

Tuotosten kehittyminen

Kuormatraktoreiden kuljetustuotokset ovat nousseet vähitellen vuosien kuluessa (S a v o l a i n e n 1973). Tuotosten kehittyminen laskettiin kaikki havainnot käsittävästä kuormatraktoriaineistosta. Ensiksi laskettiin kokoluokkien vuotuiset keskiarvot, joista määritettiin sitten kokoluokittaiset regressiosuorat (kuva 15). Keskikokoisilla ja järeillä kuormatraktoreilla keskimääräistuotokset nousivat selvästi vuosittain. Keskikokoisilla nousu oli 0,3 m³/ha ja järeillä 0,5 m³/ha vuodessa.

Pääkäyttötuntituotos

Output per main effective hour
m³/h



Kuva 15. Kuormatraktoreiden järeysluokittainen tuotoksen kehitys.

Fig. 15. Output development for different size classes of forwarders.

Pienillä traktoreilla tuotos oli sen sijaan hieman laskeva. Tämä johtunee siitä, että moottoriteholtaan (luokitusperuste) pienten traktoreiden kehittäminen tapahtui pääasiassa 1960-luvun puolella, joten koneet ovat nykyisin teknisesti vanhoja. Uudemmat pienikokoiset kuormatraktorit sijoittuvat nykyisin moottoritehonsa puolesta keskikokoisten luokkaan.

Saman traktorimerkin keskimääräistuotosten vuotuista kehittymistä tarkasteltaessa aineistona oli 11 kuormatraktorimerkin vuotuiset keskimääräiset tuotokset vuosina 1968—75. Traktorimerkkikohtaisista tuotoksista lasketut regressiosuorat on esitetty kuvassa 16. Seitsemällä traktorimerkillä tuotos on noussut vuosittain, kahdella ollut lähes vakio ja kahdella laskenut. Kehityksen yleissuuntaus on kuitenkin testin mukaan 0,1 % riskillä vuosittain nouseva.

Osa tästä kehityksestä selittyy kuormatraktoreiden ja kuormainten teknisellä kehityksellä, osaan on puolestaan vaikuttanut työmenetelmien ja -tekniikan yms. tekijöiden muutokset. Esimerkiksi suoritun pitkän kuitupuun ja monitoimikoneella tehdyn puutavaran metsäkuljetuksessa tuotos on

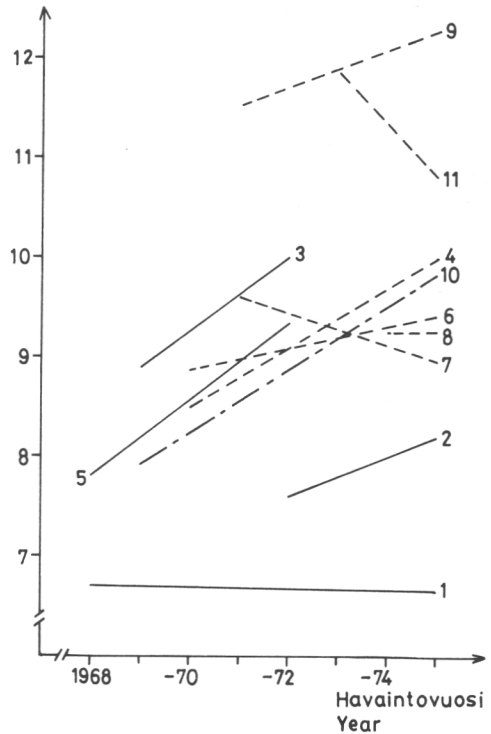
parempi kuin perinteisin ihmistyövaltaisin menetelmin hakatun puutavaran kuljetuksessa.

46. Päätelmiä

Tämän selvityksen mukaan kuormatraktoreiden tuotokset ovat alhaisemmat kuin keskimäärin aikatutkimuksiin perustuvissa tutkimuksissa. Kuormatraktorin koon vaikutus keskimääräisiin tuotoksiin on myös hieman pienempi kuin aiemmissa tutkimuksissa keskimäärin.

Kiinnostavin seikka käytännön metsäkuljetuksen kannalta lienee keskikokoisen ja järeän kuormatraktorin tuotosero. Kun tuo-

Pääkäyttötuntituotos
Output per main effective hour
m³/h



Kuormatraktori - Forwarder:

— Pieni - Light
- - - Keskipikoinen - Medium
- - - - - Järeä - Heavy

Kuva 16. Kuormatraktoreiden tuotosten kehittyminen.

Fig. 16. Output development for forwarders.

toksissa huomioitiin erilaiset keskiajomatkat, saatiin tuotoseroksi 17 %. Vuodenvaihteen 1977—78 kustannustasolla on vastaava keskimääräinen tuntikustannusten ero 7—9 %. Näiden laskentaperusteiden mukaan ovat järeät kuormatraktorit keskikokoisia edullisempia keskimääräisten tunti-tuotosten ja -kustannusten perusteella.

On syytä muistaa myös erikokoisten kuormatraktoreiden soveltuvuus eri käyttökohteisiin; järeät koneet selviävät yleensä keski-

kokoisia paremmin vaikeissa olosuhteissa. Toisaalta järeät kuormatraktorit ajavat useasti monitoimikoneiden tekemän puutavaran, jolloin työn luonteesta johtuen tuotos on ihmistyövaltaisesti hakatun leimikon metsäkuljetustuotosta korkeampi. Tämä seikka on saattanut tehdä järeiden ja keskikokoisten kuormatraktoreiden tuotoseron tilastoaineistossa hieman todellista suuremmaksi.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tilastotiedot soveltuvat suoritetun selvityksen mukaan varsin hyvin tuotostason määrittämiseen ainespuun korjuussa. Poikkeuksen tästä tekee ihmistyövaltainen hakkuu, josta ei luultavasti ilman erityistoimenpiteitä, eikä sittenkään ilman hyvin laajaa aineistoa saada irti haluttuja tietoja. Tämä johtunee hakkuumiesten suurista henkilökohtaisista eroista, jotka sekoittavat muiden tekijöiden vaikutuksia.

Tilastoaineistojen luotettavuus on eräs niiden käyttökelpoisuuteen vaikuttava tekijä. Tilastoista saatavat korjuutekniset tiedot ovat yleensä luotettavia keskiarvoja, koska ne joudutaan määrittämään taksoja varten. Toinen asia on sitten, miten hyvin keskimääräistiedot kuvaavat koko aineistoa. Tuotosten laskennassa tarvittava puumäärä on myös luotettava, sillä se perustuu luovutus-

tai työmittaukseen. Sen sijaan työntekijöiden itsensä kirjaaman työajan oikeellisuus on nykyisellään hieman epävarmaa. Yleisesti uskotaan aikamäärien tulevan merkityksi helpommin hieman liian suureksi kuin pieneksi. Liian suuri työaika aiheuttaa tuotoksia laskettaessa todellista alhaisemman tuotoksen.

Tilastotiedot edustavat lähinnä keskimääräistä tuotostasoa. Niistä voidaan laskea riippuvuudet keskimääräisistä korjuuteknisistä tekijöistä. Tämänkaltaisten tilastotietojen käyttö esimerkiksi taksoja määrittäessä ei ole perusteltua, koska tilastotietojen keruu ei ole toistaiseksi yhdenmukaista eri yrityksissä eikä niiden keräämistä valvota tarkasti. Toisaalta mikäli tilastotietojen keräys olisi yhdenmukaista ja valvottua, olisi niistä suurta hyötyä korjuututkimuksissa.

KIRJALLISUUS

- ESKELINEN, A., PELTONEN, J., RUMPUNEN, H. & SAVOLAINEN, R. 1976. Puunkorjuun tuottavuus metsäteollisuuden ja metsähallituksen työmailla talvella 1975. Metsätehon seloste 2:1—27.
- JUKKOLA, S. & TYNKKYNNEN, M. 1974. Pika 75-harvesteri. Metsätehon seloste 3:1—11.
- KAHALA, M. 1969. Tutkimus puutavaran valmistukseen vaikuttavista tekijöistä. Summary: A study of the factors influencing the cutting of timber. Metsätehon Julkaisu 44:1—94.
- 1972. Puutavaran metsäkuljetus kuormatraktorilla. Summary: Forest haulage of timber by forwarder. Metsäteho Tied. 310:1—38.
- 1974. Erikokoisten kuormatraktoreiden tuotostaso. Summary: The output level of forwarders of different sizes. Metsäteho Tied. 334:1—16.
- MIKKONEN, E. 1977. Puutavaran lajittelu monitoimikoneilla. Summary: Timber sorting with multi-purpose machines. Metsäteho Tied. 344:1—26.
- , PELTONEN, J., SAVOLAINEN, R. & VESIKALLIO, H. 1974. Puunkorjuun kehityssennuste 1975—1984. Summary: Forecast of the development of timber harvesting in 1975—1984. Metsäteho Tied. 336:1—28.
- MORENIUS, B & MOSSBERG, C. 1977. Driftuppföljning av nya avverkningsmaskiner. Skogsarbetens Ekonomi 14:1—4.
- MYLLYNIEMI, A. 1977. Työvaikeustekijöiden vaikutus palstalla toimivien monitoimikoneiden tuotokseen. Summary: Effect of work difficulty factors on the output of multipurpose machines operating in the cutting area. Metsäteho Tied. 345:1—19.
- MÄKELÄ, J. & TEIKARI, E. 1973. Tiedustelu metsätraktorien tuottavuudesta ja ansioista. Työtehoseuran Metsätiedote 215:1—4.
- PELTOLA, H. 1976. Pika 75-harvesteri. Summary: Pika 75 harvester. Metsätehon Katsaus 6:1—8.
- RYSÄ, M. & SAVOLAINEN, R. 1972. Puunkorjuun tuottavuus ihmistyövaltaisissa korjuumenetelmissä metsäteollisuuden ja metsähallituksen työmaillo vuonna 1971. Summary: Productivity of timber harvesting with labour-intensive harvesting methods at work sites of the forest industry and the national board of forestry in 1971. Metsäteho Tied. 319:1—32.
- TYNKKYNNEN, M. 1976. Monitoimikoneilla valmistetun sahatukin ja pitkän kuitupuun kuormajuonto. Metsätehon seloste 12:1—10.

SUMMARY

The aim of the study was to present the output level for the harvesting of industrial wood as derived from statistical data and to analyse the various factors affecting the output level. The statistical output figures were then compared with those obtained from time studies. The statistical data used in the study was obtained from the time sheets of forest industry enterprises for different machines and from various study reports. They mainly concern output levels in 1975—76.

Treatment of the statistical output data for manual cutting gave a model with only a poor degree of explanation and certain inconsistencies. This may be due to the combined effect of many interdependent factors. The statistical data did not give a reliable picture about manual cutting output.

The statistical data was rather well suited for explaining the output of timber cut by processors and harvesters. The output levels and the factors affecting them were calculated for each make of machine by means of step-wise regression analysis. The size of the stems in the logging areas (= volume cut/number of trees cut), sampling year, stand density in logging areas and machine owner, or transformations of these variables, gave the best explanation for the output levels.

The output levels calculated from the statistical data were in agreement with the mean output levels obtained from extensive time studies in the most common stem size classes.

When the relative profitability of different sizes of processor were compared, the unit costs of timber handling with heavy processors were found to be smaller than those for small processors. The difference

in unit costs for the stem size class 0,20—0,40 m³ was 8—11 %.

Two statistical materials were used in determining the output level for terrain transport done with forwarders. The more extensive material was used to calculate the effects of individual forwarder characteristics and the more restricted one for the effect of harvesting conditions. Of the factors specific to the different types of forwarder, motor effect best explained the output level, and of the harvesting factors, motor effect and driving distance, or suitable transformations of them.

The output levels calculated from the statistical data were, on the average, slightly lower than the corresponding output values obtained from the extensive time studies. When the statistical output levels for forwarders were compared with the output figures obtained from the more restricted time studies, the time study output figures were on the average 53 % higher than the statistical output ones.

According to the statistical data, the output levels for heavy forwarders were on the average 17 % higher than those for medium-sized forwarders. With the cost levels prevailing at the turn of 1977—78, the corresponding mean hourly costs were only 7—9 % lower, and on this basis heavy forwarders were more profitable than medium-sized ones.

The results of this study indicated that statistical data is rather suitable for determining the output level of the mechanical stages involved in the harvesting of industrial wood. However, when this is being done care should be taken to ensure that the time sheet observations are reliable.

ODC 355
ISBN 951-40-0372-1
ISSN 0015-5543

MÄKELÄ, M. 1979. Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Abstract: Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies. *Folia For.* 378: 1—22.

Output levels were calculated from the statistical data and their dependence on different factors in manual cutting, preparation of timber using processors and harvesters and terrain transport with forwarders determined. The output level obtained from the statistical data for processors and harvesters was in good agreement with the average output level obtained in time studies. The statistical output level for forwarders was slightly lower than that obtained in time studies.

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

ODC 355
ISBN 951-40-0372-1
ISSN 0015-5543

MÄKELÄ, M. 1979. Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Abstract: Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies. *Folia For.* 378: 1—22.

Output levels were calculated from the statistical data and their dependence on different factors in manual cutting, preparation of timber using processors and harvesters and terrain transport with forwarders determined. The output level obtained from the statistical data for processors and harvesters was in good agreement with the average output level obtained in time studies. The statistical output level for forwarders was slightly lower than that obtained in time studies.

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

ODC 355
ISBN 951-40-0372-1
ISSN 0015-5543

MÄKELÄ, M. 1979. Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Abstract: Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies. *Folia For.* 378: 1—22.

Output levels were calculated from the statistical data and their dependence on different factors in manual cutting, preparation of timber using processors and harvesters and terrain transport with forwarders determined. The output level obtained from the statistical data for processors and harvesters was in good agreement with the average output level obtained in time studies. The statistical output level for forwarders was slightly lower than that obtained in time studies.

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

ODC 355
ISBN 951-40-0372-1
ISSN 0015-5543

MÄKELÄ, M. 1979. Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa. Abstract: Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies. *Folia For.* 378: 1—22.

Output levels were calculated from the statistical data and their dependence on different factors in manual cutting, preparation of timber using processors and harvesters and terrain transport with forwarders determined. The output level obtained from the statistical data for processors and harvesters was in good agreement with the average output level obtained in time studies. The statistical output level for forwarders was slightly lower than that obtained in time studies.

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

- No 331 Gustavsen, Hans G.: Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt.
Finnish volume increment functions.
- No 332 Helander, Matti & Simula, Anna-Leena: Metsäalan toimihenkilöiden kysyntä ja tarjontaa vuoteen 1985.
Demand and supply of professional forestry staff by 1985.
- No 333 Hakkila, Pentti, Kalaja, Hannu, Salakari, Martti & Valonen, Paavo: Whole-tree harvesting in the early thinning of pine.
Kokopuun korjuu männikön ensiharvennuksessa.
- No 334 Järveläinen, Veli-Pekka: Mielipiteet yksityismetsätaloudessa. Metsänomistajien ja metsäammattimiesten käsityksiä metsätaloudesta ja sen edistämisestä.
Opinions in Finnish private forestry. On the opinions of the private forest owners and the forestry experts concerning forestry and its promotion.
- No 335 Juutinen, Paavo: Kuitupuupinot pystynävertäjän (*Tomicus piniperda* L.) lisääntymispaikkoina Pohjois-Suomessa.
Pulpwood stacks as breeding sites for pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern Finland.
- No 336 Kärkkäinen, Matti: Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi
Methods for measuring the average length of pulpwood bolts estimated during logging by eye.
- No 337 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76.
- No 338 Lähde, Erkki: Välivarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen. Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success.
- No 339 Teivainen, Terttu: Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan. Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments.
- No 340 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Kantokäsittelylaittein varustettujen raivaussahojen vertailua.
Comparison of clearing saws equipped with stump spraying devices.
- No 341 Uusvaara, Olli: Teollisuushakkeen ja purun painomittaus.
Weight scaling of industrial chips and sawdust.
- No 342 Hakkila, Pentti: Pienpuun korjuu polttoaineeksi.
Harvesting small-sized wood for fuel.
- No 343 Paavilainen, Eero: PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland. Preliminary results.
- No 344 Lehtonen, Irja, Pekkala, Osmo & Uusvaara, Olli: Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia.
Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp.
- No 345 Metsätalastollinen vuosikirja 1976.
Yearbook of Forest Statistics 1976.
- No 346 Parviainen, Jari: Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus.
Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase.
- No 347 Vuorinen, Heikki: Metsätraktorin kuljettajan kuormittumisen mittaussuhteet.
Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers.
- No 348 Löytyniemi, Kari: Metsänlannoituksen vaikutuksesta ytimennävertäjiin (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
Effect of forest fertilization on pine shoot beetles (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
- No 349 Metsämuuronen, Markku, Kaila, Simo & Räsänen, Pentti K.: Männyn paakkutaimien alkukehitys vuoden 1973 istutuksissa.
First-year planting results with containerized Scots pine seedlings in 1973.
- No 350 Oikarinen, Matti: Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoalojen edustavuus.
Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots.
- No 351 Heikkilä, Risto: Mäntykuitupuupinojen suojaaminen pystynävertäjän iskeytymistä vastaan Pohjois-Suomessa.
Protection of pine pulpwood stacks against the common pine-shoot beetle in northern Finland.
- No 352 Saramäki, Jussi: Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus.
Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland.
- No 353 Päivinen, Risto: Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle.
Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch.
- No 354 Järveläinen, Veli-Pekka: Yksityismetsätalouden seuranta. Metsälöötökseen perustuvan tietojärjestelmän kokeilu.
Monitoring the development of Finnish private forestry. A test of an information system based on a sample of forest holdings.

- No 355 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Tutkimuksia haapatukkien mittauksesta ja teknisistä ominaisuuksista.
Studies on the measurement and technical properties of aspen logs.
- No 356 Hyppönen, Mikko & Roiko-Jokela, Pentti: Koepuiden mittauksen tarkkuus ja tehokkuus.
On the accuracy and effectivity of measuring sample trees.
- No 357 Uusitalo, Matti: Alueittaiset kantorahatulot vuosina 1970—75.
Regional gross stumpage earnings in Finland in 1970—75.
- No 358 Mattila, Eero & Helle, Timo: Keski- ja pohjois-Suomen talvilaidunten inventointi.
Inventory of winter ranges of semi-domestic reindeer in Finnish Central Lapland.
- No 359 Hannelius, Simo: Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelu.
Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability.
- No 360 Jakkila, Jouko & Pohtila, Eljas: Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa.
Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland.
- No 361 Kyttälä, Timo: Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa.
Aspects of work organizing in logging.
- No 362 Kukkola, Mikko: Lannoituksen vaikutus eri latvuserosten puiden kasvuun mustikka-tyypin kuusikossa.
Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site.
- No 363 Mielikäinen, Kari: Puun kasvun ennustettavuus.
Predictability of tree growth.
- No 364 Koski, Veikko & Tallqvist, Raili: Tuloksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla.
Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees.
- 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 Ryytänen, 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 korvasienen 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 Suomenniemen ja Savitaipaleen kunnissa.
Pblebia gigantea and *Heterobasidion annosum* in pine stumps on cutting areas in Suomenniemi and Savitaipale.
- 1979 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.