

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Metsäteknologian tutkimusosasto  
5/1980

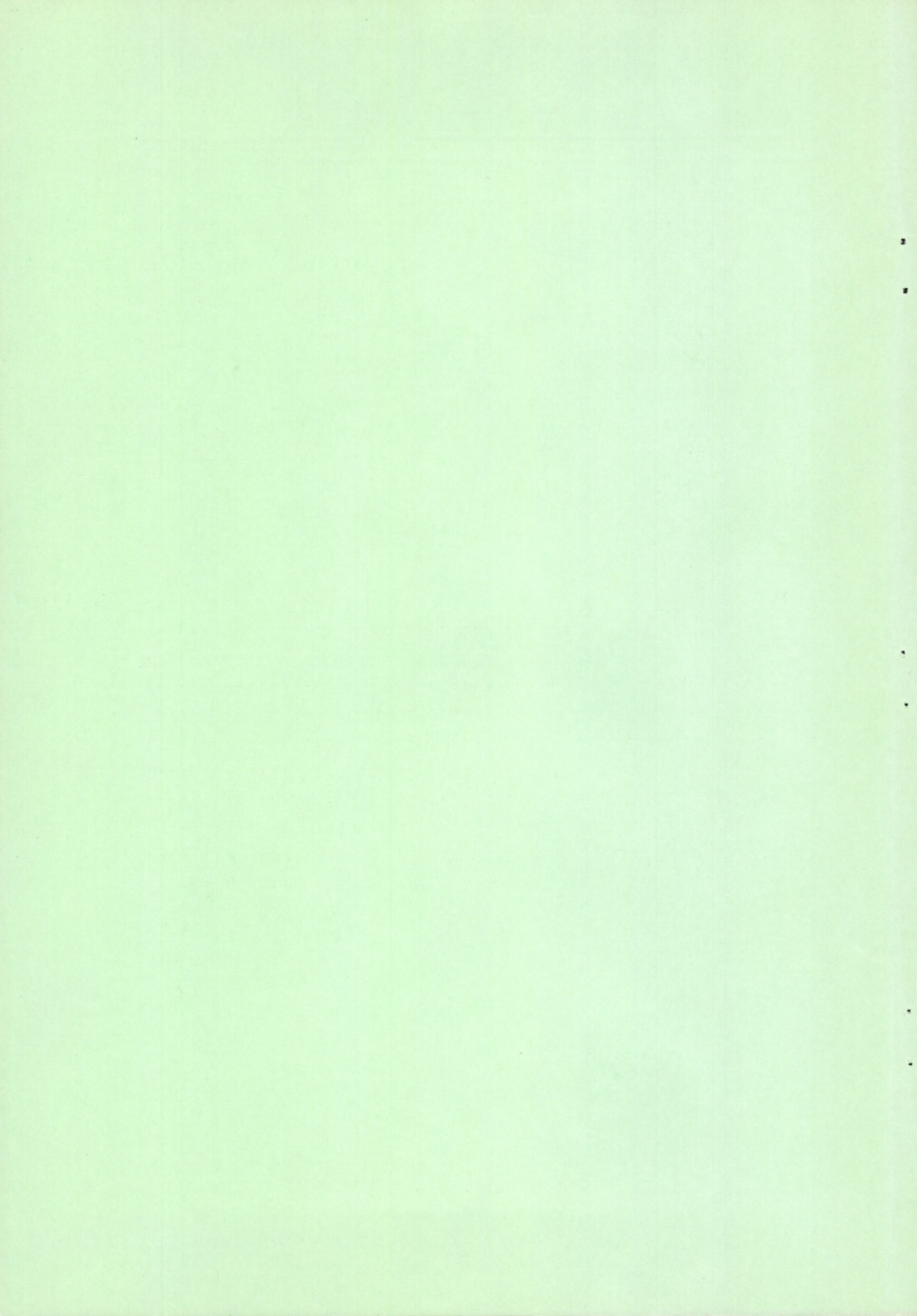
PIENTRAKTORI HARVENNUSHAKKUISSA

Summary:

Small tractor in thinnings

Paavo Valonen ja Pertti Harstela

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUT  
Department of Forest Technology  
5/1980



## SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| 1. JOHDANTO.....   | 1  |
| 2. TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT.....   | 2  |
| 21. Tutkitut pientraktorit.....  | 2  |
| 22. Tutkimusolosuhteet ja aineisto.....  | 2  |
| 3. PUUTAVARAN TEKO PIENTRAKTORILLE.....  | 3  |
| 4. KUITUPUUN KUORMAJUONTO PIENTRAKTORILLA.....   | 8  |
| 41. Työajan menekki.....   | 8  |
| 42. Käyttötuntituotokset.....  | 15 |
| 5. KUORMAJUONTOON PERUSTUVIEN KORJUUKETJUIEN TYÖN TUOTTA-<br>VUUS JA KUSTANNUKSET..... | 16 |
| 6. PIENTRAKTORI KAATO-KASAUSKONEENA.....   | 18 |
| 61. Työajan menekki.....   | 18 |
| 62. Teho- ja käyttötuntituotokset.....   | 20 |
| 7. PIENTRAKTORI HARVESTERINA.....  | 23 |
| 8. LAAHUSJUONTO PIENTRAKTORILLA.....   | 25 |
| 9. PUUSTON VAURIOITUMINEN.....   | 27 |
| 91. Kuormajuonto.....  | 27 |
| 92. Kaato-kasauskone.....  | 30 |
| 93. Kaato-kasaus-, harvesteri- ja laahusjuontokone.....                                | 34 |
| 10. TULOSTEN TARKASTELU.....   | 37 |
| 11. TIIVISTELMÄ.....   | 39 |
| KIRJALLISUUS.....  | 42 |
| SUMMARY.....   | 43 |
| LIITTEET.....  | 51 |

## 1. JOHDANTO

Pientraktorina on esitetty erääksi vaihtoehdoksi harvennushakkuiden koneellistamiseen. Periaatteessa sitä voidaan käyttää suurempien koneiden tapaan ajourilla, jotka kuitenkin voivat olla verraten kapeita. Toinen käyttömuoto on sellainen, jossa kone liikkuu vapaasti palstalla ilman ennalta suunniteltuja ajouria. Tässä tutkimuksessa ensin mainittua käyttömuotoa edustavat kuorma- ja laahusjuonto ja jälkimmäistä kaato-kasaus ja käyttö harvesterina.

Pientraktorin käytön taloudellisuuteen vaikuttavat välittömät korjuukustannukset ja korjuun vaikutus metsikön tulevaan tuottoon. Välittömien korjuukustannusten laskemista varten määritetään tässä tutkimuksessa työn tuottavuus tutkimusolosuhteissa ja arvioitujen käyttötuntikustannusten avulla korjuun yksikkökustannukset. Metsikön tulevaan tuotokseen vaikuttavina tekijöinä tarkastellaan ajourien leveyttä ja puuston vaurioitumista.

Tutkimus kuuluu NSR:n yhteispohjoismaiseen "Gallringsteknik"-projektiin. Tutkimus suoritettiin Osuuskunta Metsäliiton ja Puulaa-ki Oy:n työmailla, ja näiden yhtiöiden henkilökunnalta saatiin arvokasta apua. Lisäksi Oy M. Laine ja Sponsor Oy avustivat koneiden järjestämisessä. Käsikirjoituksen tarkasti prof. Pentti Hakkila.

## 2. TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

### 21. Tutkitut pientraktorit

Makeri-pientraktorin tarkemmat tekniset tiedot on esitetty MIKKO-SEN ja YLÄ-HEMMILÄN (1977) ja HAKKILAN ja WÓJCIKIN (1980) tutkimuksissa. Peruskoneen painoksi on ilmoitettu 2 000 kg, kantavuudeksi 3 000 kg, leveydeksi 1 580 mm, pituudeksi ilman perävaunua 2 660 mm ja moottorin suurimmaksi tehoksi 22 kW. Voima siirretään hydrostaattisesti telaston etumaiseen pyöräpariin. Konetta ohjataan antamalla ohjaussauvoilla teloille erinopeudet ja tarvittaessa erisuuntainen liike.

Kuormatraktori-versio oli varustettu saman valmistajan kuormaimella, jonka nettonostomomentti oli 10 kNm, ja perävaunulla. Kaato-kasausversiossa oli edessä TTS-kaato-kasauslaite ja harvesteriversiossa saman valmistajan harvesteri-osa, jotka on tarkemmin selostettu MELKON (1979) ja HAKKILAN ja WÓJCIKIN (1980) tutkimuksissa. Nykyisin harvesterin peuskone on varustettu suuremmalla moottorilla. Runkojuontoa varten Makeri-traktori oli varustettu valmistajan kuormaimella ja juontopankolla.

Norcar-pientraktorin peruskoneen painoksi on ilmoitettu n. 2 000 kg, kantavuudeksi 5 500 kg, leveydeksi 1 500 mm, pituudeksi 2 500 mm ja moottorin tehoksi 20 kW. Myös Norcarissa on hydrostaattinen voimansiirto. Tutkittu kuormatraktori oli varustettu 4,6 m ulottuvuuden omaavalla kourakuormaimella ja perävaunulla. Kuormaimen nostomomentiksi on ilmoitettu 22,5 kNm.

### 22. Tutkimusolosuhteet ja aineisto

Aineisto kerättiin Etelä-Suomesta kuitupuun teon ja kuormajuonnon osalta kevättalvella ja muulta osin sulan maan aikaan. Aineiston määrä ja tutkimusolosuhteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkimusolosuhteet ja aineiston määrä  
 Table 1. Research conditions and materials

| Työmaa,<br>no<br><i>Work site,<br/>nr.</i> | Tutkittu<br>pienetraktori-<br>versio<br><i>Small tractor<br/>version</i> | Leimikon<br>tiheys,<br>m <sup>3</sup> /ha<br><i>Stand density,<br/>m<sup>3</sup>/hc.</i> | Rungon<br>keskikoko,<br>m <sup>3</sup> /r<br><i>Stem size,<br/>m<sup>3</sup>/stem</i> | Jäävä<br>puusto,<br>kpl/ha<br><i>Remaining<br/>trees,<br/>number/hc.</i> | Maastoluokka<br><i>Terrain class</i> |
|--|--|--|---|--|--------------------------------------|
| 1  | kuormatr.<br><i>forwarder</i>  | 30   | 0,060   | 803  | 1                                    |
| 2  | "  | 51   | 0,061   | 863  | 1                                    |
| 3  | kaato-kasausk.<br><i>feller-buncher</i>                                  | 47   | 0,027   | 1 176  | 1                                    |
| 4  | harvesteri<br><i>harvester</i>   | 45   | 0,032   | 1 169  | 1                                    |
| 5  | laahustr.<br><i>skidder</i>  | 47   | 0,030   | 1 135  | 1                                    |

### 3. PUUTAVARAN TEKO PIENTRAKTORILLE

Puutavaran teossa pienetraktorilla suoritettavaa kuormajuontoa varten kokeiltiin seuraavia työmenetelmiä:

Menetelmä 1. Kuitupuun teko kourakasoiksi ajouran varten. Ajouraväli noin 20 m, ajourien leveys 2,5 - 3,0 m. Ajourat merkittiin leimauksen yhteydessä.

Menetelmä 2. Kuitupuun teko tekomiehen suunnitteleminen ajourien varten. Ajouraväli 10 - 15 m, ajourien leveys 2,0 - 3,0 m. Kasaus siten, että latvaläpimitaltaan yli 15 cm:n pölkyt jätetään levälleen, 12 - 15 cm:n pölkyt suoritetaan ja alle 12 cm:n pölkyt kasataan. Menetelmä on HARSTELAN ym. esittämän ns. LEKA-menetelmän versio.

Toisella leimikolla (leimikko 2) kerättiin aineistoa myös puutavaran teosta ajouran varten, kun ajouraväli oli 30 m ja ajouran leveys 4 m (Menetelmä 3).

Keskimääräinen, pölkkyykohtainen kasausmatka oli pienetraktorille sovelletussa LEKA-menetelmässä 19 - 42 % lyhyempi kuin kuitupuun teossa ajouran varten 20 m:n uravälillä. HARSTELAN et. al. (1977) tutkimuksessa LEKA-menetelmä pienensi kasausmatkaa keskimäärin 51 % verrattuna 3-m kuitupuun tekoon uran varten 30 m ajouravälillä.

Leimikossa 2 oli mukana myös teko uran varteen 30 m:n uravälillä, ja siinä kasaumatka oli 4 % pitempi verrattuna työskentelyyn uravälin ollessa 20 m (taulukko 2). Ajouravälin pidentäminen 20 m:stä 30 m:iin pidensi kasaumatkaa tämän tutkimuksen aineistossa vähemmän kuin HAAJA (1970) ja VALONEN (1977) ovat esittäneet.

Taulukko 2. Kasaumatkat ja kasaustapojen osuudet eri tekomenetelmissä  
Table 2. *Bunching distance and share of bunching method in different cutting methods.*

| Tekomies<br><i>Worker</i> | Tekomenetelmä<br><i>Cutting method</i> | Kasaumatka<br><i>Bunching distance</i> |     | Kasaustapa - <i>Bunching method</i>                     |                           |                                 |                                   |
|---------------------------|--|--|-----|---|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                           |  |  |     | Kantaen<br><i>Carrying</i>                              | Vetäen<br><i>Dragging</i> | Suorien<br><i>Straightening</i> | Ei liikuteltu<br><i>Not moved</i> |
|                           |  | m                                      | %   | Osuus pölkkyjen määrästä, %<br><i>Share of bolts, %</i> |                           |                                 |                                   |
| 1                         | 1                                      | 4,8                                    | 100 | 88,7  | 7,9                       | 1,8                             | 1,6                               |
| 1                         | 2                                      | 2,8                                    | 58  | 68,2  | 14,0                      | 12,9                            | 4,9                               |
| 2                         | 1                                      | 2,7                                    | 100 | 91,6  | 3,1                       | 3,7                             | 1,5                               |
| 2                         | 2                                      | 2,2                                    | 81  | 76,5  | 9,7                       | 7,4                             | 6,4                               |
| 2                         | 3                                      | 2,8                                    | 104 | 89,9  | 4,4                       | 3,8                             | 1,9                               |

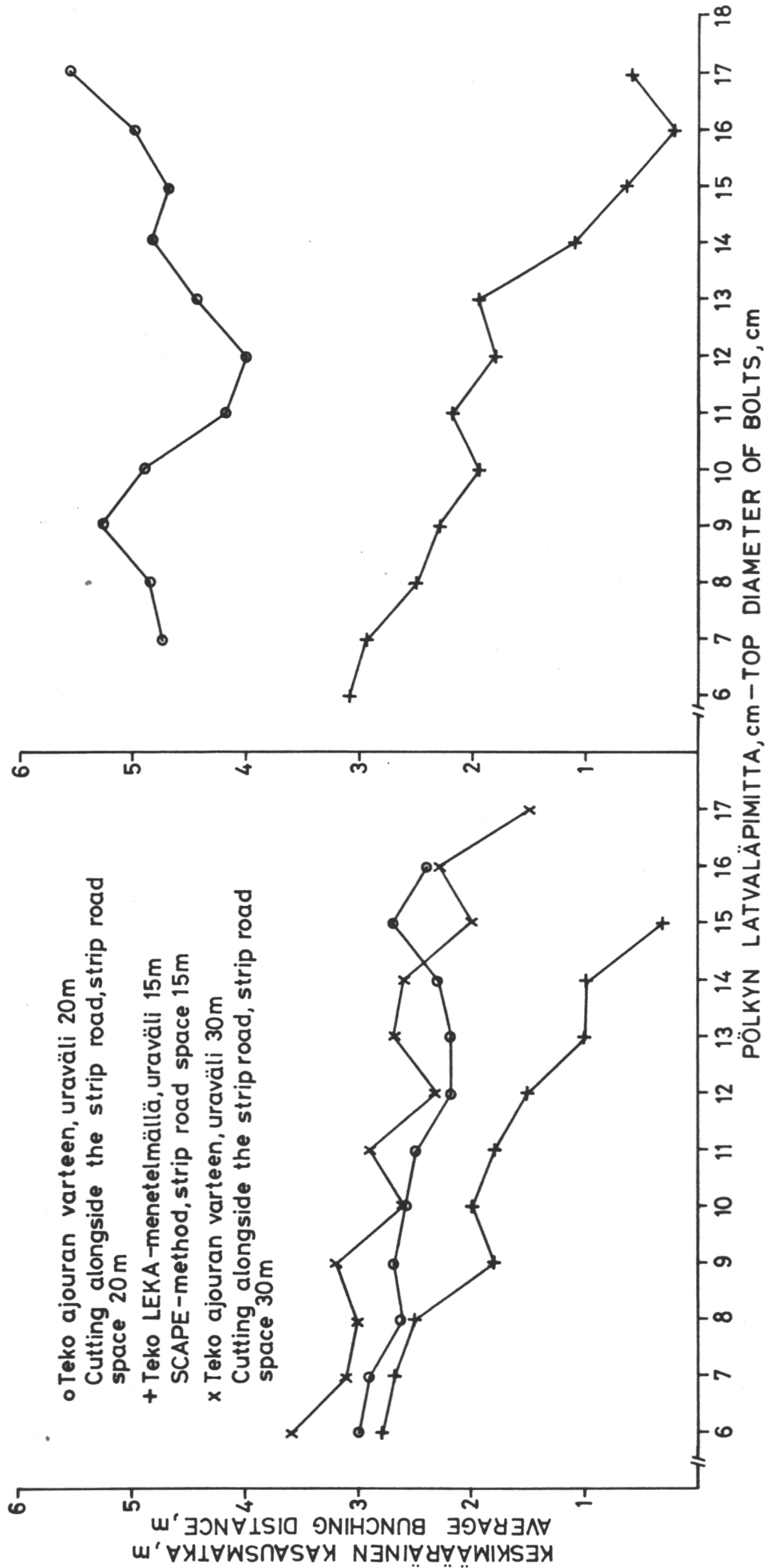
Edellä mainitut kasaumatkojen arvot olivat pölkkyjen läpimittaluokittaisilla lukumäärillä painotettuja keskiarvoja. Kasaumatkojen ero menetelmien välillä suureni pölkyn koon mukaan. Normaalisissa uran varteen teossa kasaumatka pieneni sangen lievästi pölkyn koon suuretessa, pientraktoriurien varteen teossa sen sijaan varsin selvästi (kuva 1).

Vetäen ja suorien kasattujen sekä paikalleen jätettyjen pölkkyjen määrä lisääntyi ja kantamalla kasattujen pölkkyjen määrä väheni kun normaalista uran varteen kasauksesta siirryttiin kasaukseen tekomiehen suunnitteleminen urien varteen LEKA-menetelmällä. Pölkyn koon vaikutus kasaustapaan käy ilmi kuvista 2 ja 3.

Verrattuna HARSTELAn ym. (1977, s. 10) tuloksiin LEKA-menetelmästä 3-m kuitupuuta tehtäessä oli paikalleen jätettyjen pölkkyjen määrä tässä tutkimuksessa pienempi. Ajouravälin pidentäminen 20 m:stä 30 m:iin ei juuri muuttanut eri kasaustapojen osuuksia.

TEKOMIES 1  
WORKER 1

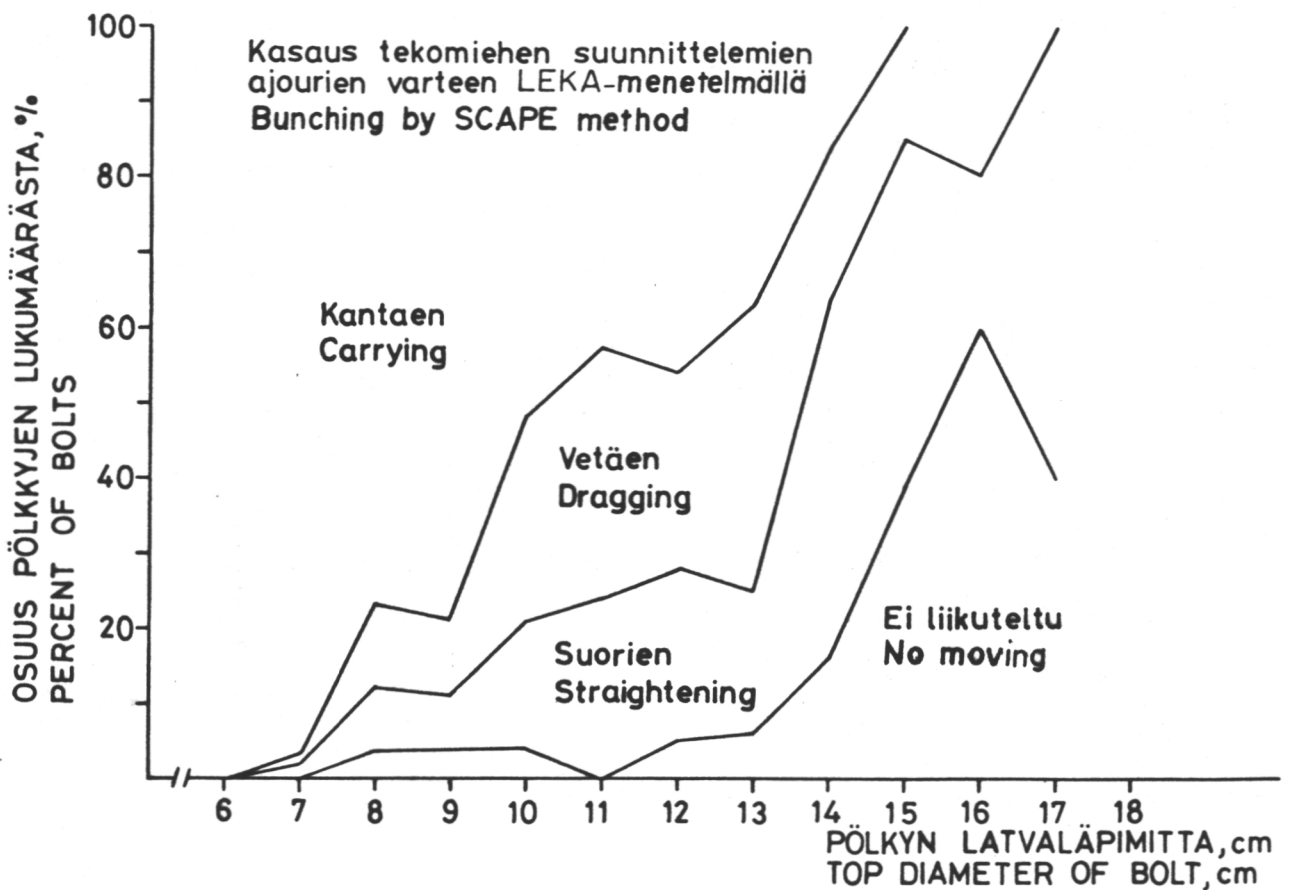
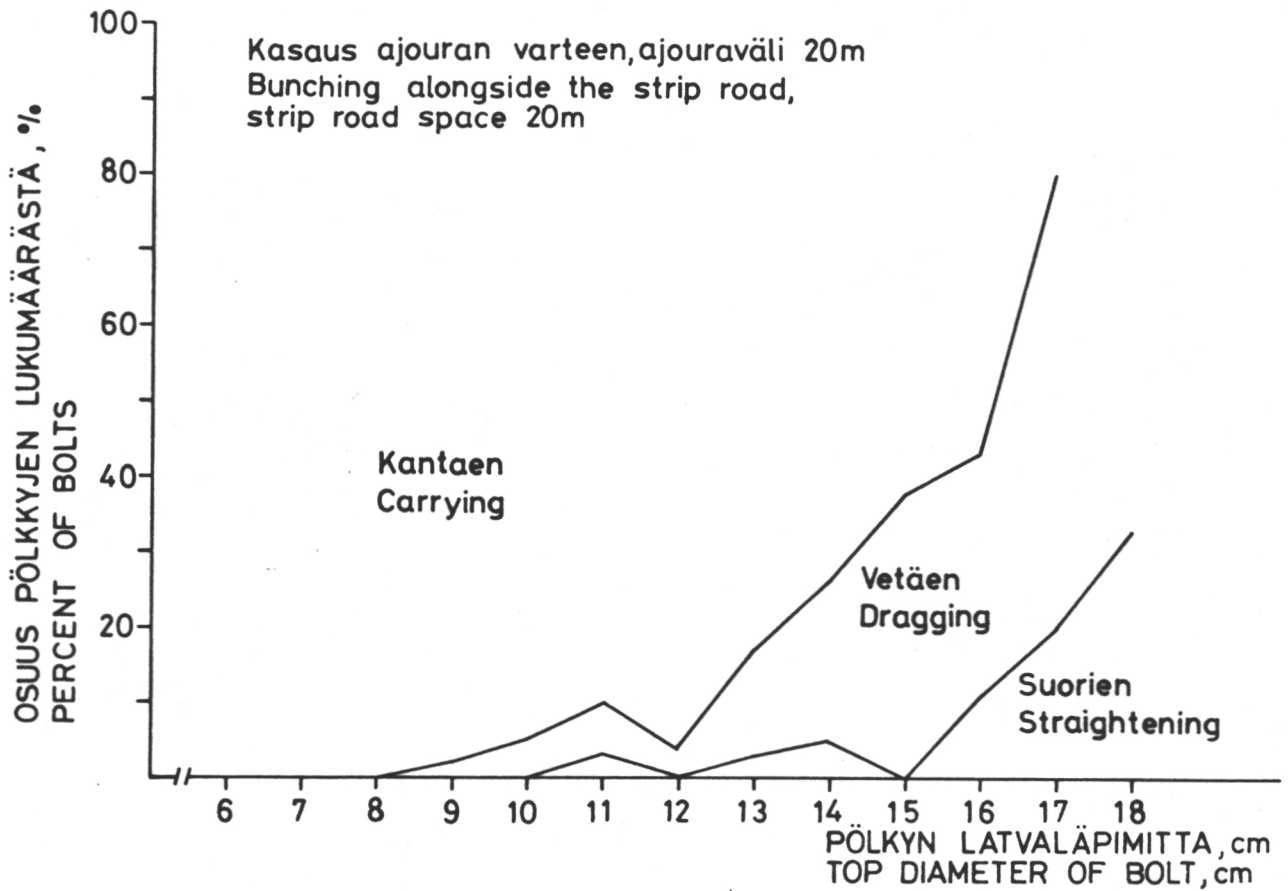
TEKOMIES 2  
WORKER 2



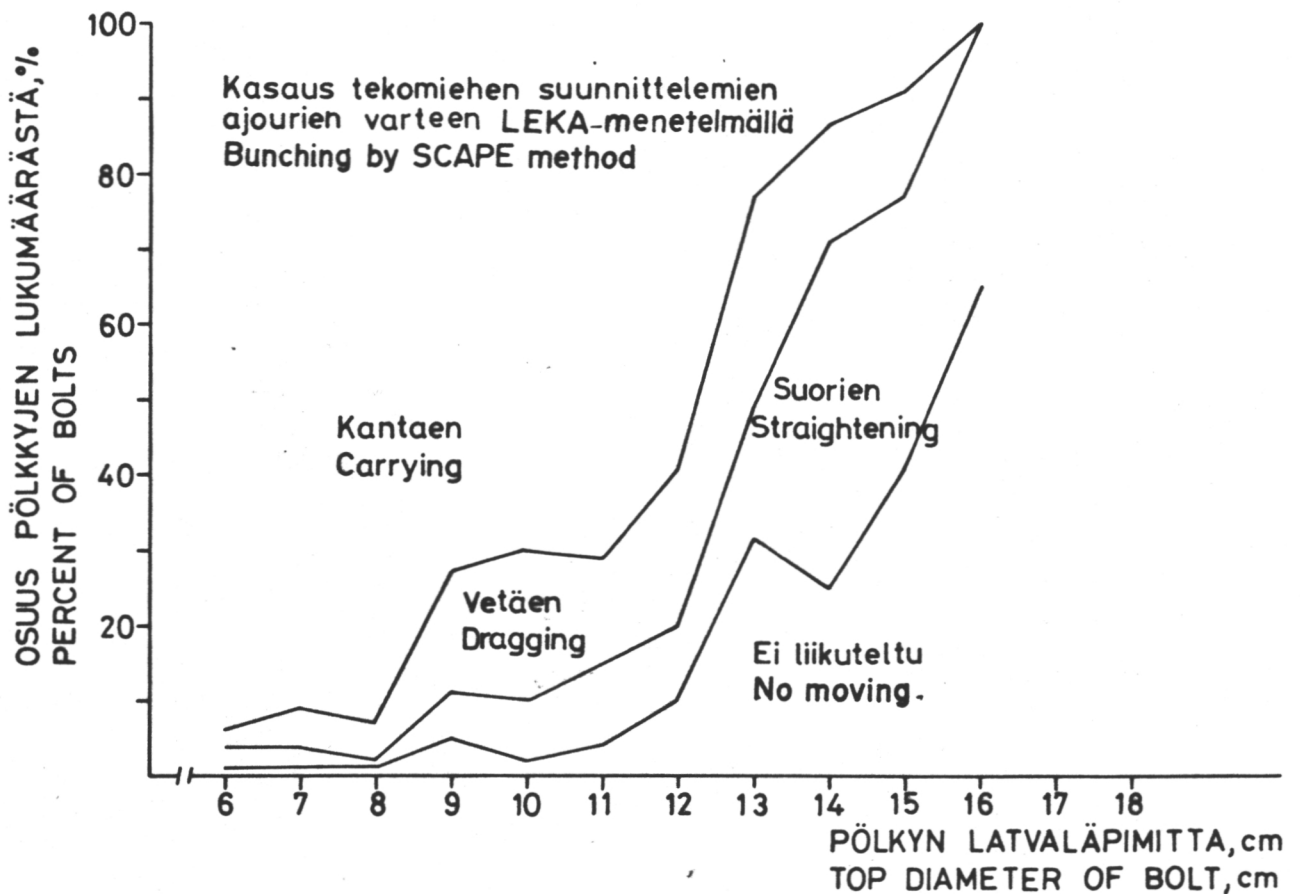
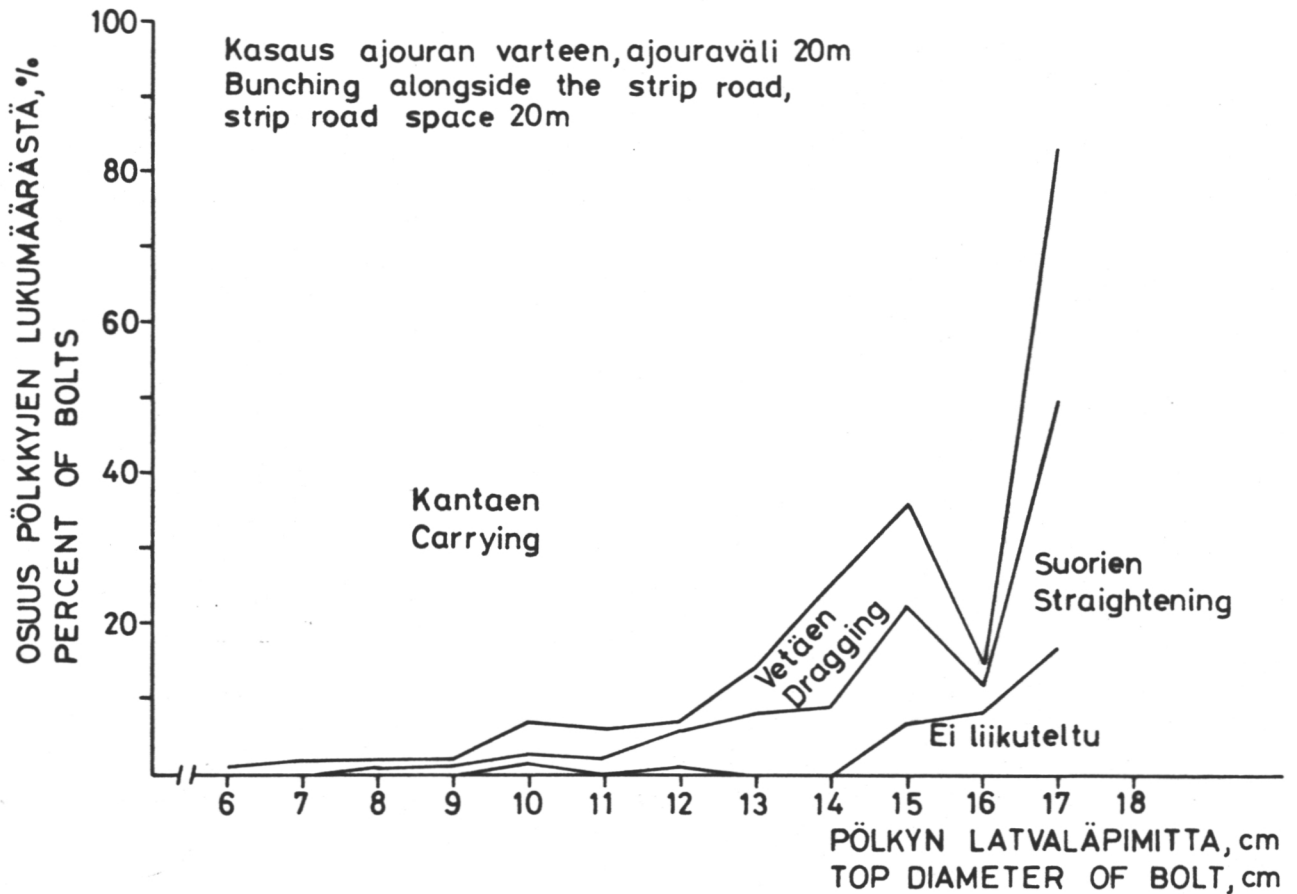
Kuva 1. Kasaumatkan riippuvuus pölkyn koosta eri työmenetelmissä.

Fig. 1. Bunching distance as a function of bolt size in different cutting methods.





Kuva 2. Kasaustavan riippuvuus pölkyn koosta. Tekomies 1.  
Fig. 2. Bunching method as a function of bolt size. Worker 1.



Kuva 3. Kasaustavan riippuvuus pölkyn koosta. Tekomies 2.

Fig. 3. Bunching method as a function of bolt size. Worker 2.

Runkokohtaiselle kokonaisajalle sekä kasausajalle laskettiin liitteessä 1 esitetyt regressioyhtälöt. Tekomenetelmä on yhtälöissä mukana valemuuttujina niissä tapauksissa, joissa se oli tilastollisesti merkitsevä selittäjä. Tekomiehellä 2 ei menetelmien 2 ja 3 ajanmenekkien ero ollut tilastollisesti merkitsevä. Liitteen yhtälöiden avulla laskettiin keskimääräiset, suhteelliset runkokohtaiset ajanmenekit eri tekomenetelmille (kuva 4).

Runkokohtainen tehotyöaika pieneni tekomiehellä yksi 11 % ja tekomiehellä kaksi 6 %, kun normaalin uranvarteen kasauksen asemasta kasattiin tekomiehen itsensä suunnittelemien pientraktoriturien varteen LEKA-menetelmällä. Runkokohtainen kasauksen tehoaika pieneni vastaavasti 48 % ja 25 %. Koska muiden työvaiheiden ajanmenekki ei poikennut menetelmien välillä, johtui kokonaisajanmenekin ero pelkästään kasausvaiheen erilaisesta ajanmenekistä. HARSTELAN ym. (1977 s. 9) mukaan LEKA-menetelmä pienensi runkokohtaista työaikaa keskimäärin 14 % tavanomaiseen menetelmään verrattuna tehtäessä noin 3-m kuitupuuta. Suurimpana syynä eroon lienee pienempi rungon koko tässä aineistossa.

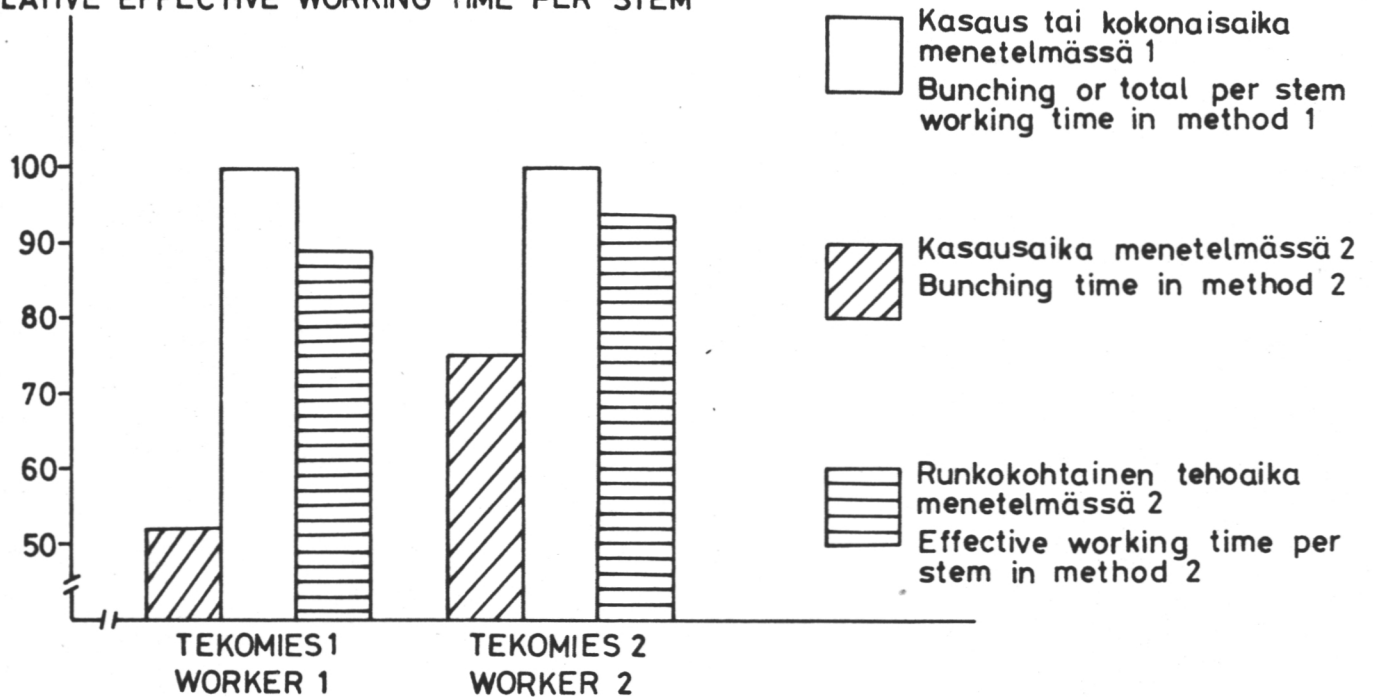
#### 4. KUITUPUUN KUORMAJUONTO PIENTRAKTORILLA

##### 4.1. Työajan menekki

Leimikossa 1 puutavara juonnettiin Makeri-pientraktorilla ja leimikossa 2 Norcar-pientraktorilla. Leimikossa 2 ajettiin yhden palstan puutavara Valmet 872 kuormatraktorilla. Leimikoitten erilaisuuden vuoksi ei pientraktoreita voi tämän tutkimuksen tulosten perusteella verrata keskenään. Leimikossa 2 voidaan sen sijaan verrata pientraktoria ja keskiraskasta kuormatraktoria keskenään.

Ajanmenekille kuormajuonnossa ( $\text{min}/\text{m}^3$ , keskeytysten osuus 10 %) laskettiin regressioyhtälöt, jotka on esitetty liitteessä 2. Ajonopeuden tyhjänä- ja kuormattuna ajossa ei havaittu riippuvan ajomatkastasta. Syynä saattoi olla osittain ajomatkan sangen pieni vaihtelu.

SUHTEELLINEN TEHOAIKA / RUNKO  
 RELATIVE EFFECTIVE WORKING TIME PER STEM



Kuva 4. Suhteelliset tehotyöajan menekit eri tekomenetelmissä.

Fig. 4. Relative working times in different cutting methods.

Työmaalla 1 olivat Makeri-pientraktorin ajonopeudet seuraavaan asetelman mukaiset:

|   | Ajonopeus tyhjänä | Ajonopeus kuormattuna |
|---|-------------------|-----------------------|
|   | m/min (%)         |                       |
| Teko ajouran varteen<br>(uraväli 15...25 m) | 79 (100)          | 69 (100)              |
| Teko pientraktoriurien<br>varteen           | 56 (71)           | 58 (84)               |

Maastoluokka oli 1 ja maassa kovaa, jäätyntä lunta n. 15 cm.

Työmaalla 2 olivat pientraktorin (Norcar) ja keskiraskaan kuormatraktorin (Valmet 872 K) ajonopeudet seuraavat:

|   | Ajonopeus tyhjänä | Ajonopeus kuormattuna |
|---|-------------------|-----------------------|
|   | m/min (%)         |                       |
| Pientraktori, kuitupuu tehty ajourien varteen (uraväli 15...25 m)               | 66 (100)          | 41 (100)              |
| Pientraktori, kuitupuu tehty pientraktoriurien varteen                          | 61 (92)           | 37 (90)               |
| Keskiraskas kuormatraktori, kuitupuu tehty ajourien varteen (uraväli 25...35 m) | 60 (91)           | 43 (105)              |

Kummallakin leimikolla olivat pientraktorin ajonopeudet selvästi pienemmät ajettaessa tekomiehen suunnitteleminen ajourien varteen tehtyä puutavaraa.

Kuutioyksikköä kohden laskettuihin ajanmenekkeihin vaikuttaa ajonopeuden ja -matkan lisäksi myös kuorman koko, joka oli yleensä hieman pienempi tekomiehen suunnitteleminen urien varteen LEKA-menetelmällä tehtyä puutavaraa juonettaessa. Leimikolla 1 oli menetelmien 1 ja 2 ajanmenekin ero 45 % tyhjänä ajossa ja 23 % kuormattuna ajossa. Leimikolla 2 olivat erot vastaavasti 5 - 10 % tyhjänä ajossa ja 7 - 14 % kuormattuna ajossa puulajista riippuen. Keskipokoisen kuormatraktorin ajanmenekki oli tyhjänä ajossa 48 - 50 % ja kuormattuna ajossa 55 - 57 % pienempi kuin pientraktorin, joka ajoi ennalta suunniteltujen ajourien varteen tehtyä puutavaraa (taulukko 3).

Kuitupuun teko työmenetelmällä 2 pientraktoriurien varteen ei juuri vaikuttanut taakka-aikaan. Sen sijaan kuormaustaakan koko oli kummallakin leimikolla 25 % pienempi verrattuna 20 m:n uravälillä uran

varteen tehdyn kuitupuun kuormaukseen. Kuusen osalta leimikon 2 tulokset vaihtelivat satunnaisesti pienestä aineistosta johtuen.

Taulukko 3. Ajanmenekit tyhjänä- ja kuormattuna-ajossa  
Table 3. Time expenditure of driving loaded and unloaded

|                                   | Ajanmenekki tyhjänäajossa<br>Unloaded   |      |      | Ajanmenekki kuormattuna ajossa<br>Loaded |      |      |
|-----------------------------------|---|------|------|--|------|------|
|                                   | Juontomatka, m - Forwarding distance, m |      |      |  |      |      |
|                                   | 200                                     | 300  | 400  | 200                                      | 300  | 400  |
| Työmaa 1<br>Work site 1           |   |      |      |  |      |      |
| Menetelmä 1<br>Method 1           | 0,79                                    | 1,19 | 1,58 | 0,91                                     | 1,36 | 1,81 |
| Menetelmä 2<br>Method 2           | 1,15                                    | 1,73 | 2,30 | 1,11                                     | 1,67 | 2,22 |
| Työmaa 2<br>Work site 2           |   |      |      |  |      |      |
| Menetelmä 1 ku<br>Method 1 spruce | 0,87                                    | 1,30 | 1,73 | 1,39                                     | 2,09 | 2,79 |
| ko<br>birch                       | 1,04                                    | 1,57 | 2,09 | 1,68                                     | 2,52 | 3,36 |
| Menetelmä 2 ku<br>Method 2 spruce | 0,96                                    | 1,45 | 1,93 | 1,59                                     | 2,38 | 3,18 |
| ko<br>birch                       | 1,09                                    | 1,64 | 2,19 | 1,80                                     | 2,70 | 3,60 |
| Menetelmä 3 ku<br>Method 3 spruce | 0,45                                    | 0,68 | 0,90 | 0,63                                     | 0,94 | 1,26 |
| ko<br>birch                       | 0,52                                    | 0,78 | 1,04 | 0,73                                     | 1,09 | 1,45 |

Kasan keskikoko aleni leimikossa yksi 59 % ja leimikossa kaksi 53 %, kun siirryttiin tavanomaisesta kuitupuun uran varteen kasauksesta tekomiehen suunnittelemien urien varteen kasaukseen LEKA-menetelmällä ja kapeaan ajouraväliin.

Kuormauksen ajanmenekki kuutiyksikköä kohden oli pienemmän kasan koon aiheuttamasta pienemmästä taakan koosta johtuen leimikolla yksi 47 % ja leimikolla kaksi 34 % suurempi kuormattaessa pientraktorin urien varteen LEKA-menetelmällä kasattua puutavaraa.

Keskikokoisen kuormatraktorin taakka-aika oli hieman pienempi kuin pientraktorin. Myös kasan koko oli suurempi, koska ajouraväli oli 25 - 35 m. Suuremmasta kasan koosta ja kuormaimen suuremmasta

tehosta johtuen keskikokoisella kuormatraktorilla kuormaustaakan tilavuus oli 46 % suurempi kuin pientraktorilla. Kuormauksen ajanmenekki oli keskikokoisella kuormatraktorilla vastaavasti 38 % pienempi. Koneiden vertailu on kuitenkin epävarmaa, koska niillä oli eri kuljettajat (taulukot 4 ja 5).

Taulukko 4. Kuormauksen ajanmenekki ja kuormaustaakkojen koot leimikolla 1. Makeri-pientraktori.

Table 4. Time expenditure of loading and size of burden in work site 1. Makeri small tractor.

|                         | Ajanmenekki kuormauksessa<br>Time expenditure of loading |     |                    |     | Taakan koko<br>Size of burden    |     | Kasan koko<br>Size of pile |     |
|-------------------------|--|-----|--------------------|-----|----------------------------------|-----|----------------------------|-----|
|                         | cmin/<br>taakka<br>burden                                | %   | min/m <sup>3</sup> | %   | m <sup>3</sup> /taakka<br>burden | %   | m <sup>3</sup>             | %   |
| Menetelmä 1<br>Method 1 | 50   | 100 | 2,35               | 100 | 0,20                             | 100 | 0,39                       | 100 |
| Menetelmä 2<br>Method 2 | 52   | 104 | 3,45               | 147 | 0,15                             | 75  | 0,16                       | 41  |

Taulukko 5. Kuormauksen ajanmenekki ja kuormaustaakkojen koot leimikolla 2. Norcar pientraktori ja Valmet 872 K.

Table 5. Time expenditure of loading and size of burden in work site 2. Norcar small tractor and Valmet 872 K.

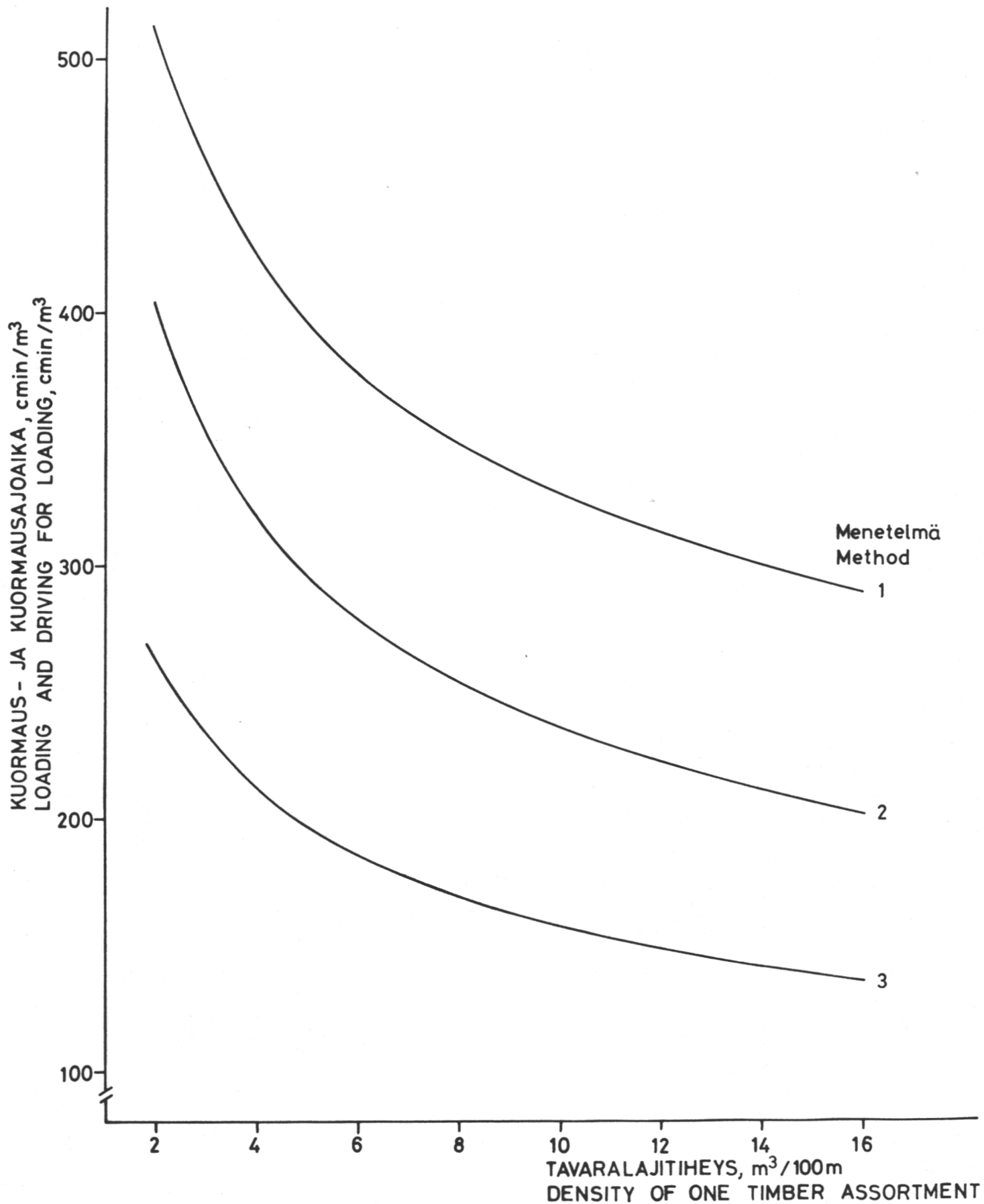
|                                     | Ajanmenekki kuormauksessa<br>Time expenditure of loading |     |                    |     | Taakan koko<br>Size of burden    |     | Kasan koko<br>Size of pile |     |
|-------------------------------------|--|-----|--------------------|-----|----------------------------------|-----|----------------------------|-----|
|                                     | cmin/<br>taakka<br>burden                                | %   | min/m <sup>3</sup> | %   | m <sup>3</sup> /taakka<br>burden | %   | m <sup>3</sup>             | %   |
| Menetelmä 1, ku<br>Method 1, spruce | 41   | 100 | 2,42               | 100 | 0,17                             | 100 | 0,17                       | 100 |
| ko<br>birch                         | 48   | 100 | 2,05               | 100 | 0,24                             | 100 | 0,38                       | 100 |
| Menetelmä 2, ku<br>Method 2, spruce | 41   | 100 | 2,36               | 98  | 0,17                             | 100 | 0,17                       | 100 |
| ko<br>birch                         | 48   | 100 | 2,75               | 134 | 0,18                             | 75  | 0,18                       | 47  |
| Menetelmä 3, ku<br>Method 3, spruce | 42   | 102 | 1,22               | 50  | 0,34                             | 200 | 0,40                       | 235 |
| ko<br>birch                         | 44   | 92  | 1,27               | 62  | 0,35                             | 146 | 0,47                       | 125 |

Kuormausajon ajanmenekki riippuu uran laadun lisäksi pääasiassa tavaralajitiheydestä sekä kasojen koosta. Tavaralajitiheys pien-traktoriuria varten kapealla ajouravälillä tehtyä kuitupuuta ajettaessa oli leimikolla yksi 71 % ja leimikolla kaksi 66 % 20 m:n uravälillä normaalisti ajouran varten tehdyn kuitupuun tavaralajitiheydestä. Kuormausajon ajanmenekki menetelmässä 2 oli molemmilla leimikoilla lähes kaksinkertainen menetelmään 1 verrattuna (taulukko 6). Leimikon 2 osalta tarkastettiin yhteenlasketun kuormaus- ja kuormausajoajanmenekin riippuvuutta tavaralajitiheydestä (kuva 5).

Taulukko 6. Kuormausajomatkat, ajanmenekit ja tavaralajitiheydet  
Table 6. Driving distances for loading, time expenditure and density of one timber assortment

|  | Matka<br><i>Driving distance</i>  |         | Ajanmenekki<br><i>Time expenditure</i> |     | Samalta paikalta<br>kuormattu<br><i>Loaded at the<br/>same place</i> |                                    | Tavaralajitiheys,<br>$m^3/100\ m$<br><i>Density of one<br/>timber assortment</i> |     |
|--|-----------------------------------|---------|--|-----|--|------------------------------------|--|-----|
|  | m/kerta<br><i>moving<br/>time</i> | $m/m^3$ | min/ $m^3$                             | %   | $m^3$  | kasoja, kpl<br><i>piles number</i> |  |     |
| Työmaa 1<br><i>Work site 1</i>             |                                   |         |  |     |  |                                    |  |     |
| Menetelmä 1<br><i>Method 1</i>             | 31                                | 55      | 1,18                                   | 100 | 0,47   | 1,2                                | 5,1  | 1,5 |
| Menetelmä 2<br><i>Method 2</i>             | 16                                | 79      | 2,39                                   | 203 | 0,19   | 1,2                                | 3,6  | 2,8 |
| Työmaa 2<br><i>Work site 2</i>             |                                   |         |  |     |  |                                    |  |     |
| Menetelmä 1, ku<br><i>Method 1, spruce</i> | 11                                | 47      | 1,59                                   | 100 | 0,22   | 1,3                                |  | 2,1 |
| ko<br><i>birch</i>                         | 11                                | 18      | 0,72                                   | 100 | 0,49   | 1,3                                |  | 5,6 |
| Menetelmä 2, ku<br><i>spruce</i>           | 7                                 | 24      | 1,18                                   | 74  | 0,26   | 1,6                                |  | 4,3 |
| ko<br><i>birch</i>                         | 10                                | 27      | 1,38                                   | 192 | 0,32   | 1,7                                |  | 3,7 |
| Menetelmä 3, ku<br><i>spruce</i>           | 10                                | 15      | 0,57                                   | 36  | 0,59   | 1,5                                |  | 6,2 |
| ko<br><i>birch</i>                         | 14                                | 19      | 0,59                                   | 82  | 0,66   | 1,4                                |  | 4,8 |





Kuva 5. Kuormaus- ja kuormausajoajan riippuvuus tavaralajitiheydestä leimikolla 2.

Fig. 5. Loading and driving for loading times as a function of density of one timber assortment. Work site 2.

## 42. Käyttötuntituotokset

Kuormajuonnon käyttötuntituotokset laskettiin työmaittain regressioyhtälöistä, joissa selvitettävänä muuttujina olivat juontomatka, tavaralajitiheys ja valemuuttujina puulaji sekä menetelmä (liite 2). Tavaralajitiheys laskettiin kuormakohtaisesti siten, että kuorman koko jaettiin kuormausajomatkalla. Näin saatu tiheys ei ole tarkalleen sama kuin todellinen tavaralajitiheys ja siihen vaikuttanee huomattavasti kuljettajan taito suunnitella ajonsa.

Taulukon 7 tuloksia ei voida käyttää eri pientraktoreiden vertailuun, koska tulokset ovat eri työmailta, joiden olosuhteet poikkeavat huomattavasti toisistaan. Ajanmenekki yhtälöiden kautta saadut tuotosluvut antavat oikean kuvan pientraktorin ja kuormatraktorin tuotoserosta vain keskijuontomatkalle, joka oli n. 300 m. Koska menetelmä oli mukana valemuuttujana, ovat eri menetelmien tuotosten riippuvuudet juontomatkastaa tässä samat, vaikka suhteellinen ero kuormauksesta johtuen kasvaa juontomatkan mukana.

Taulukko 7. Käyttötuntituotokset kuormajuonnoissa. Tavaralajitiheys  $10 \text{ m}^3/100 \text{ m}$  (menetelmässä 1),  $8 \text{ m}^3/100 \text{ m}$  (menetelmässä 2) ja  $17 \text{ m}^3/100 \text{ m}$  (menetelmässä 3). Ajouravälit vastaavasti 20, 15 ja 30 m. Poistuma  $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

Table 7. Gross effective times of forwarding. Density of one timber assortment  $10 \text{ m}^3/100 \text{ m}$  (method 1),  $8 \text{ m}^3/100 \text{ m}$  (method 2) and  $17 \text{ m}^3/100 \text{ m}$  (method 3). Space between strip road 20, 15 and 30 m (methods 1 - 3). Density of marked stand  $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

|  | Käyttötuntituotos, $\text{m}^3/\text{h}$ ( $E_{15}$ ) Gross effective time, $\text{m}^3/\text{h}$ ( $E_{15}$ ) |     |                       |     |                       |     |
|--|--|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|
|  | Juontomatka, m Forwarding distance, m  |     |                       |     |                       |     |
|  | 200  |     | 300                   |     | 400                   |     |
|  | $\text{m}^3/\text{h}$  | %   | $\text{m}^3/\text{h}$ | %   | $\text{m}^3/\text{h}$ | %   |
| Työmaa 1 (kuusi)<br>Work site 1 (spruce) |  |     |                       |     |                       |     |
| Menetelmä 1<br>Method 1                  | 8,1  | 100 | 7,5                   | 100 | 7,1                   | 100 |
| Menetelmä 2<br>Method 2                  | 6,1  | 75  | 5,6                   | 75  | 5,3                   | 75  |
| Työmaa 2 (koivu)<br>Work site 2 (birch)  |  |     |                       |     |                       |     |
| Menetelmä 1<br>Method 1                  | 8,4  | 100 | 6,9                   | 100 | 5,9                   | 100 |
| Menetelmä 2<br>Method 2                  | 8,0  | 95  | 6,5                   | 94  | 5,6                   | 95  |
| Menetelmä 3<br>Method 3                  | 17,3   | 206 | 14,0                  | 203 | 12,1                  | 205 |

Pientraktorin kuormajuontotuotos aleni työmaalla yksi 25 % ja työmaalla kaksi 25 %, kun siirryttiin 20 m ajouravälillä uran varteen tehdyn kuitupuun juonnosta tekomiehen kapealla ajouravälillä suunnitteleminen, ns. pientraktoriurien varteen LEKA-menetelmällä tehdyn kuitupuun juontoon.

Leimikoiden välinen ero aiheutuu osittain siitä, että leimikolla 2 olivat urat erittäin selvät kummassakin menetelmässä. Sen sijaan leimikolla 1 alikasvoskuusikko ja pieni tavaralajitiheys aiheuttivat sen, että ajourat eivät olleet kaikin paikoin selvästi näkyvissä. Tämä seikka vaikeutti ajon suunnittelua ja pidensi kuormausajomatkaa.

Leimikolla 2 osoittautui keskikokoisen kuormatraktorin tuotos hieman yli kaksinkertaiseksi pientraktorin tuotokseen verrattuna. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna käyttötuntituotokset olivat samaa suuruusluokkaa. MIKKOSEN ja YLÄ-HEMMILÄN (1977) tutkimuksessa käyttötuntituotos oli 180 m kuljetusmatkalla 6,3 - 8,1 m<sup>3</sup>/h. Puolassa 2-m kuitupuulla tuottavuus oli 200 m kuljetusmatkalla 4,8 m<sup>3</sup>/h, mutta jos se muunnetaan vastaamaan 3-m kuitupuulla saavutettavaa kuorman kokoa oli tuottavuus 7,0 m<sup>3</sup>/h (HAKKILA ja WOJCIK 1980). Myös keskikokoisen kuormatraktorin tuotostaso on KAHALAN (1979) esittämien tuotosten kanssa samaa suuruusluokkaa, kun otetaan huomioon helpot maasto-olot ja suuri tavaralajitiheys.

## 5. KUORMAJUONTOON PERUSTUVIEN KORJUUKETJUIEN TYÖN TUOTTAVUUS JA KUSTANNUKSET

Taulukoihin 8 ja 9 on laskettu puutavaran teon ja kuormajuonnon työn tuottavuus ja korjuukustannukset. Keskikokoisen kuormatraktorin käyttötuntikustannuksena käytettiin 143 mk. Koska pientraktorille ei ollut käytettävissä kokemusperäisiä kustannuslukuja, haarukoitiin kustannuksia käyttämällä käyttötuntikustannusta 90-110 mk. Keskiajomatkana laskelmissa oli 300 m. Leimikon tiheytenä 50 m<sup>3</sup>/ha ja tavaralajitiheytenä ajossa menetelmässä yksi 10 m<sup>3</sup>/100 m, menetelmässä kaksi 8 m<sup>3</sup>/100 m ja menetelmässä kolme 17 m<sup>3</sup>/100 m. Hakkuussa rungon keskikokona käytettiin 0,1 m<sup>3</sup>, puulajina oli mänty, jonka oksaisuusluokka 2.

Suurin työn tuottavuus koko korjuuketjulla oli keskikokoinen metsätraktorin käyttöön perustuvassa korjuuketjussa. Pientraktorikorjuuketjuista työn tuottavuus oli suurempi LEKA-menetelmän variaatiota käytettäessä. Sen sijaan pelkän hakkuutyövaiheen työn tuottavuus oli suurin LEKA-menetelmän variaatiota käytettäessä pientraktorikorjuuketjussa.

Taulukko 8. Eri korjuuketjujen työn tuottavuus

Table 8. Productivity of different logging systems

| Työmaa n:o<br>Work site nr | Tekome-<br>netelmä<br>Cutting<br>method | Kuormajuonto-<br>traktori<br>Forwarder  | Työn tuottavuus, m <sup>3</sup> /h(E <sub>15</sub> )<br>Productivity |                        |                   | Suhteelliset<br>arvot<br>Relative<br>values |
|----------------------------|---|---|--|------------------------|-------------------|---|
|                            |   |   | Teko<br>Cutting  | Kuormaj.<br>Forwarding | Yhteensä<br>Total |   |
| 1                          | 1                                       | Pientr.<br>Small tractor                | 1,70   | 7,5                    | 1,39              | 100   |
|                            | 2                                       | "                                       | 1,88   | 5,6                    | 1,41              | 101   |
| 2                          | 1                                       | "                                       | 1,70   | 6,9                    | 1,36              | 98  |
|                            | 2                                       | "                                       | 1,80   | 6,5                    | 1,41              | 101   |
|                            | 3                                       | Keskikok. tr.<br>Medium-size<br>tractor | 1,61   | 14,0                   | 1,45              | 104   |

Taulukko 9. Eri Korjuuketjujen kustannukset

Table 9. Costs of different logging systems

| Työmaa n:o<br>Work site nr | Tekome-<br>netelmä<br>Cutting<br>method | Kuormajuonto-<br>kone<br>Forwarding<br>machine | Kustannukset, mk/m <sup>3</sup> - Costs, mk/m <sup>3</sup> |                        |                   |
|----------------------------|---|--|--|------------------------|-------------------|
|                            |   |  | Teko<br>Cutting  | Kuormaj.<br>Forwarding | Yhteensä<br>Total |
| 1                          | 1                                       | Pientr.<br>Small tr.                           | 23,66  | 12,00 - 14,67          | 35,66 - 38,33     |
|                            | 2                                       | "  | 21,40  | 16,07 - 19,64          | 37,47 - 41,04     |
| 2                          | 1                                       | "  | 23,66  | 13,04 - 15,94          | 36,70 - 39,60     |
|                            | 2                                       | "  | 22,34  | 13,85 - 16,92          | 36,19 - 39,26     |
|                            | 3                                       | Keskikok.tr.<br>Medium-size tr.                | 24,98  | 10,21                  | 35,19             |

Keskikokoisen kuormatraktorin käyttöön perustuvan korjuuketjun kustannukset olivat alhaisimmat, joskaan ero pientraktorikorjuuketjuihin ei ollut suuri, kun pientraktorin käyttötuntikustannuksena oli 90 mk. Laskelmaa tarkasteltaessa on otettava huomioon, ettei organisatorisia tekijöitä ja koneiden siirtokustannuksia ole otettu huomioon. Lisäksi on muistettava, että kysymyksessä olivat vain ensimmäisen maastoluokan leimikot. Pientraktorikorjuuketjujen välisestä erosta ei saada varmaa kuvaa, koska tulokset menevät ristiin. On kuitenkin huomattava, että olosuhteet leimikolla 1 olivat poikkeukselliset.

## 6. PIENTRAKTORI KAATO-KASAUSKONEENA

## 61 Työajan menekki

Yhtä puuta kerrallaan käsittelyvän kaato-kasauskoneen ajanmenekki ja tuotoksen riippuvuus rungon koosta voidaan kuvata yksiselitteisesti. Jokaiselle puulle voidaan suoraan kohdistaa kaikki esiintyvät työvaiheet. Keräävällä kaatolaitteella varustetun kaato-kasauskoneen työskentelyssä osa työvaiheista, siirtyminen ensimmäiselle puulle, siirtyminen kasalle ja taakan jättö ovat taakkakohtaisia. Siirtyminen puulle ja puiden otto taakkaan ovat taas kohdistettavissa puukohtaisesti.

Taakkakohtaiset, keskimääräiset siirtymismatkat, ajonmenekit sekä keskimääräiset ajonopeudet käyvät ilmi taulukosta 10. On huomattava, että kuljettajan 2 koealalla menetelmä oli muista poikkeava. Ajouraväli oli vain 15 m ja puut sijoitettiin kasoihin viistosti uriin nähden laahusjuontoa varten.

Ajonopeus siirryttäessä kasalta ensimmäiselle taakkaan otettavalle puulle vaihteli välillä 30-74 m/min. Ajaessaan ensimmäiselle puulle kuljettaja joutuu suunnittelemaan taakan keruuta ja valitsemaan poistettavia puita.

Kaato-kasauskone palasi takaisin ajouralle takaperin ja yleensä samaa reittiä kuin palstan sisään mentäessä. Ajonopeus taakan kanssa oli keskimäärin korkeampi kuin ajonopeus ilman taakkaa ja vaihteli välillä 38 - 68 m/min. Havaittiin, että taakan koko sinänsä ei selvästi vaikuttanut ajonopeuteen. Mutta kun taakan puiden kappalemäärä kasvoi, pieneni sen mukaan myös taakassa olleiden puiden keskikoko. Suuri puiden lukumäärä alensi ajonopeutta, koska taakka tällöin muodostui leveäksi puiden hieman "harottaessa".

Taakan keruuseen luettiin siirtyminen puulta puulle ja puun otto taakkaan. Yhden taakan puilla tähän kuuluivat kaatolaitteen asettaminen puun juurelle, puun katkaisu ja kaatolaitteen nosto maasta. Pienehköjä poikkeuksia lukuun ottamatta puukohtainen aika ei ole riippunut puiden lukumäärästä.

Taulukko 10. Makeri-kaato-kasauskoneen ajanmenekki ja tuottavuus ensiharvennusmännikössä.  
 Table 10. Time expenditure and productivity of Makeri feller-buncher in pine stand in first thinnings

|  | KULJETTAJA - DRIVER |     |     |     |     |     |      |     |     |      |
|--|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
|  | 1                   |     |     |     |     |     |      |     |     |      |
|  | 1                   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 1   | 2   | 3    |
| $m^3$  | 3,4                 | 4,3 | 4,8 | 7,0 | 5,7 | 6,3 | 5,4  | 6,6 | 9,8 | 14,2 |
| $dm^3$ /runko - stem   | 17                  | 26  | 27  | 29  | 37  | 47  | 117  | 29  | 31  | 32   |
| $dm^3$ /taakka - burden  | 72                  | 90  | 100 | 104 | 104 | 113 | 164  | 52  | 80  | 95   |
| puita, kpl/taakka - trees, number/burden   | 4,3                 | 3,4 | 3,6 | 3,6 | 2,8 | 2,4 | 1,4  | 1,8 | 2,6 | 3,0  |
| siirtyminen kasalta, cmin/taakka<br>moving to the first tree, cmin/burden  | 40                  | 27  | 34  | 37  | 30  | 28  | 27   | 34  | 27  | 19   |
| m/taakka - burden  | 13                  | 10  | 11  | 14  | 11  | 10  | 11   | 10  | 11  | 10   |
| m/min  | 33                  | 37  | 32  | 38  | 37  | 36  | 41   | 30  | 41  | 55   |
| taakan otto, cmin/taakka - collecting of burden,<br>cmin/burden  | 120                 | 75  | 77  | 88  | 68  | 48  | 34   | 59  | 52  | 74   |
| siirtyminen kasalle + taakan jättö, cmin/taakka<br>moving to the heap + leaving the burden to the heap,<br>cmin/burden | 36                  | 22  | 28  | 33  | 28  | 25  | 24   | 23  | 17  | 10   |
| m/taakka - burden  | 14                  | 9   | 11  | 13  | 11  | 10  | 10   | 9   | 8   | 7    |
| m/min  | 38                  | 42  | 39  | 38  | 39  | 39  | 41   | 40  | 49  | 68   |
| tehoajanmenekki, cmin/taakka<br>effective time expenditure, cmin/burden  | 196                 | 124 | 139 | 158 | 126 | 101 | 85   | 117 | 104 | 110  |
| tehotuntuotos, $m^3/h$ - output/effective time, $m^3/h$  | 2,2                 | 4,3 | 4,3 | 4,0 | 5,0 | 6,7 | 11,4 | 2,7 | 4,6 | 5,2  |
| käyttötuntuotos, $m^3/h$<br>output/gross effective time ( $E_{15}$ ), $m^3/h$  | 2,0                 | 4,0 | 3,9 | 3,6 | 4,5 | 6,1 | 10,5 | 2,4 | 4,2 | 4,7  |
| kpl/h - number of trees/h  | 13,2                | 165 | 153 | 137 | 133 | 143 | 99   | 92  | 150 | 164  |

Puun ottajan riippuvuutta puun kantoläpimitasta tarkasteltiin pienessä osa-aineistossa. Katkaisuajan ei juurikaan todettu kasvavan puun koon mukana. Poikkeuksen tekivät aivan kaatolaitteen katkaisukyvyn ylärajalla (22 cm) olleet puut ja tällöinkin oli hankaluutena puun sovittaminen kaatolaitteen terien väliin. Puiden keskikoko taakassa pieneni puiden lukumäärän lisääntyessä (taulukko 9).

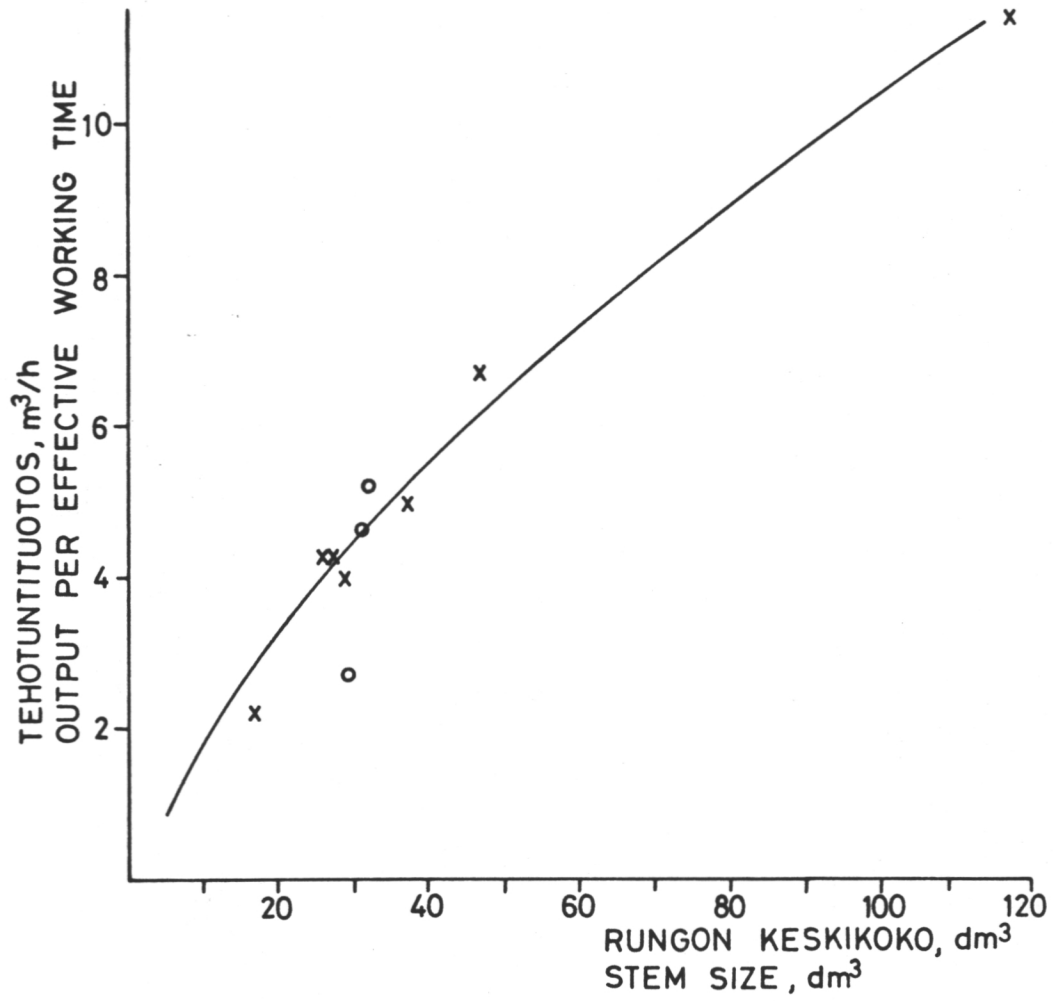
## 62. Teho- ja käyttötuntituotokset

Ratkaiseva keräävällä kaatolaitteella varustetun kaatokasauskoneen tuottavuuteen vaikuttava tekijä on poistettavan puuston läpimitta-jakautuma. Käytännön kannalta kätevämpi tunnus on kuitenkin poistettavien puiden pelkkä keskiläpimitta, vaikka se ei tuotoksen vaihtelua yksin selitäkään. Kuvassa 6 on esitetty tämän tutkimuksen aineiston erillisiltä koealoilta mitattujen tehotuntituotosten riippuvuus koealalta poistetun puuston keskirungon tilavuudesta.

Tuotoksia tarkasteltiin myös taakkakohtaisten ajanmenekkien pohjalta laskettuna. Runkoina ilmaistu tuntituotos kasvoi lievästi hidastuen aina siihen saakka, kun puiden lukumäärä taakassa oli 5 kappaletta. Tätä suurempia taakkoja oli vain kuljettajalla 1. Hänen tuloksissaan tuotos aleni, kun 5 puun sijasta taakassa olikin 6 puuta. Syynä tähän on oletettavasti, että kaatolaite on silloin tullut niin täyteen, että kuudennen puun otto on ollut jo erittäin hankalaa (kuva 7). Kuljettajan 2 ensimmäisellä leimikolla, jolloin hänen ajokokemuksensa oli vielä vähäinen, alkoi tuottavuus, kpl/h, pienetä jo kolmannen puun taakkojen jälkeen.

Rungon koolla on huomattava vaikutus myös keräävällä kaatolaitteella varustetun kaatopään tuottavuuteen (kuva 6). Puiden koon pienetessä voidaan tosin taakan puiden määrää kasvattaa. Kuljettajien 1 ja 3 osalta havaittiin taakan kokonaistilavuuden pienenevän puiden kappalemäärän lisääntymisestä huolimatta. Kuljettajan 2 aineistossa taakan tilavuus sen sijaan suureni puiden kappalemäärän mukana.

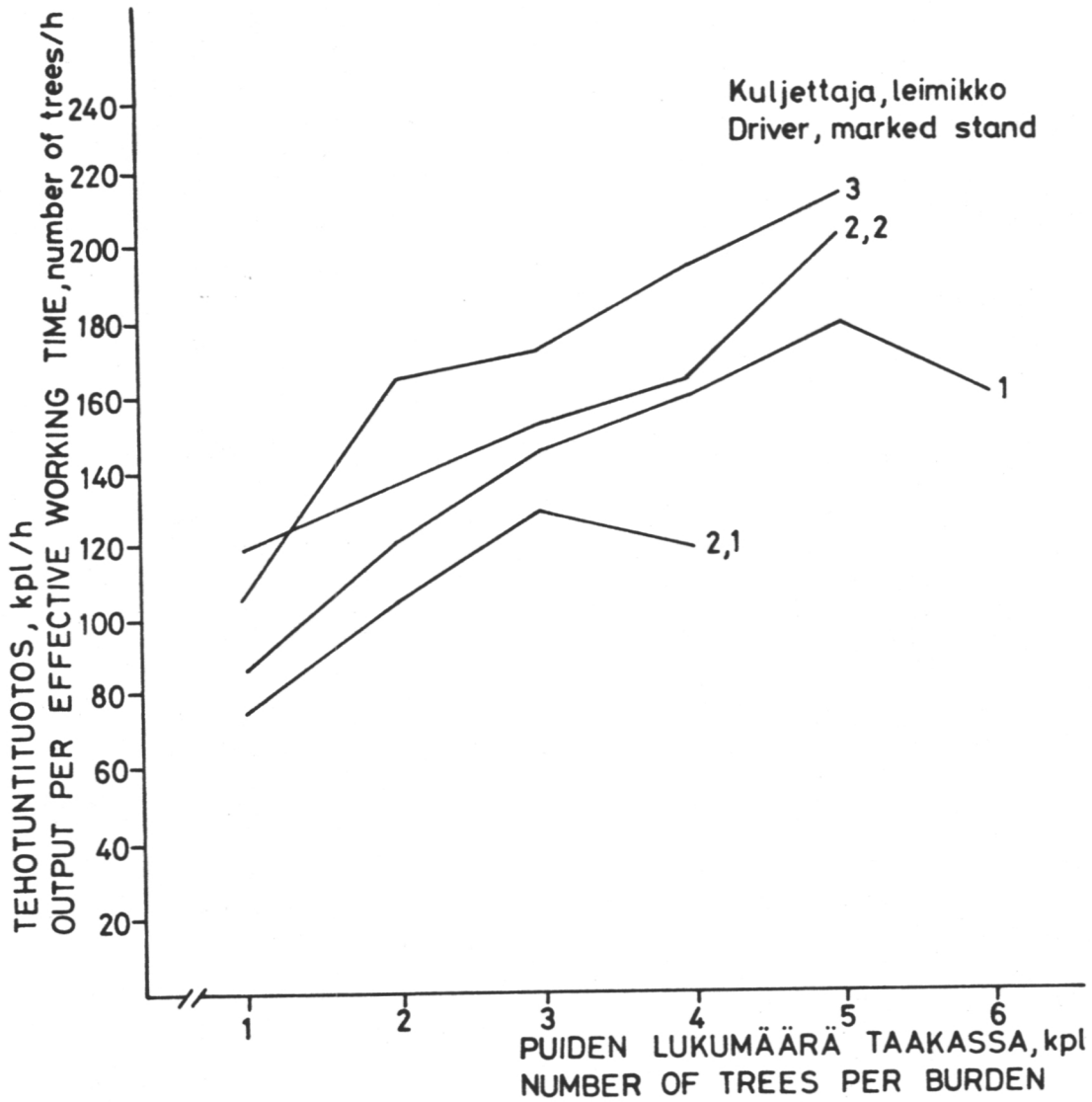
Käyttötuntituotos vaihteli  $2,0 - 10,5 \text{ m}^3$  kuljettajasta ja olosuhteista riippuen. Aikaisemmin raportoidut tuottavuusluvut ovat olleet samaa suuruusluokkaa (HAKKILA ym. 1975, 1977). Tulokset vastaavat myös suuruusluokaltaan Puolassa saatuja tuloksia (HAKKILA ja WÓJCIK 1980). Bocat M-721 kaatokasauskoneen tuontituotos on noussut lähes kaksinkertaiseksi, kun palstatien varteen kasauksen sijasta kasattiin



Kuva 6. Kaato-kasauskoneen tehotuntituotokset rungon keskikoon funktiona.

Fig. 6. Productivity of feller-buncher as a function of average stem size.





Kuva 7. Tehotuntituotoksen, kpl/ha riippuvuus taakassa olleiden puiden määrästä kaato-kasauskoneella.

Fig. 7. Productivity of feller-buncher as a function of number of trees in one burden.

palstalle (HAKKILA ym. 1975). Ihmistyövaltaisella siirtelykaatomenetelmällä on tuntituotos ollut 2 - 4 m<sup>3</sup>, mutta tällöin puut eivät vielä ole ajouran varressa kuten kaato-kasauskoneen jäljiltä. Kun rungon keskikoko on ollut pieni, 0,03 m<sup>3</sup> on ihmistyövaltainen korjuuketju saatu kuitenkin kustannuksiltaan hieman halvemmaksi (HAKKILA ym. 1977).

## 7. PIENTRAKTORI HARVESTERINA

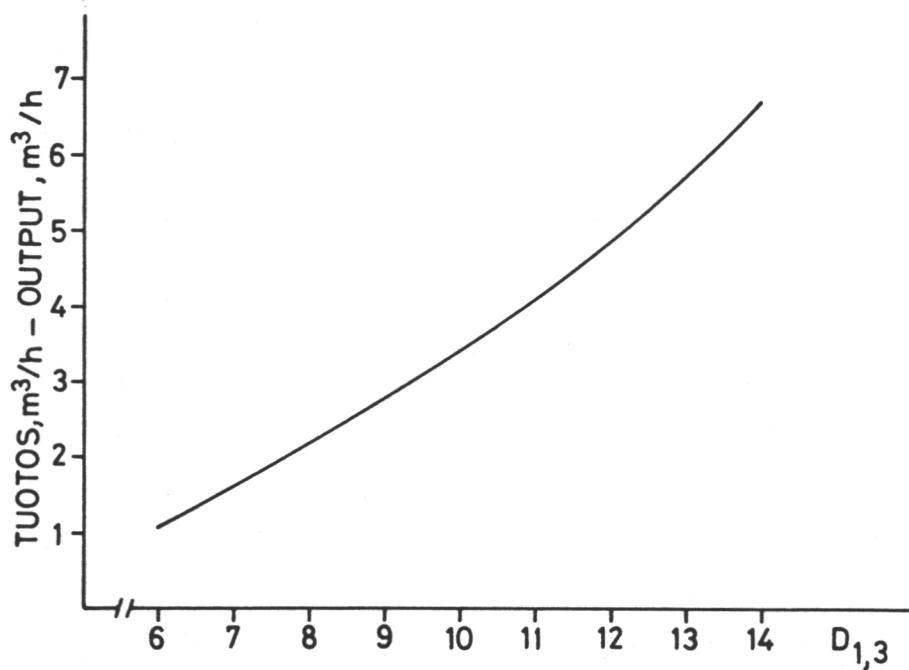
Makeri-harvesteria tutkittiin rankojen ja 3-m kuitupuun teossa. Rangan teossa harvesteri oli karsinnan aikana 3 - 4 m:n päässä uralta ja työnsi rankojen tyvet pystypuiden välistä uran reunaan tyvet juontosuuntaan päin. Rankataakat sijoitettiin mahdollisimman viistoon asentoon ajouraan nähden. Kuitupuun teossa kasat sijoitettiin niin lähelle ajouraa, että kuormatraktori saattoi ne kuormata ajouralta poikkeamatta. Ajouraväli oli 15 m ja ajourien leveys 2,5 m.

Työajan menekit ja niiden jakaantumukset on esitetty taulukossa 11. Eniten aikaa meni ajoon tyhjänä tai puun kanssa. Ajonopeudet olivat kuitenkin verraten suuret lyhyet siirtymismatkat huomioon ottaen, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee:

|                |               | Ajomatka,<br>m/puu | Ajonopeus,<br>m/s |
|----------------|---------------|--------------------|-------------------|
| Rangan teko    | Ajo tyhjänä   | 7,4                | 0,82              |
|                | " puun kanssa | 5,7                | 0,76              |
| Kuitupuun teko | Ajo tyhjänä   | 6,5                | 0,62              |
|                | " puun kanssa | 4,8                | 0,70              |

Pienempi ajonopeus kuitupuun teossa on voinut johtua lyhyemmästä ajomatkastasta.

Käyttötuntituotos vaihteli rankojen teossa 1,1 - 6,7 m<sup>3</sup> ja kuitupuun teossa 1,1 - 6,6 m<sup>3</sup>, kun rungon rinnankorkeuslähimittana vaihteli 6 - 14 cm (kuva 8). Koska rankojen ja kuitupuun teon tuotoksessa ei havaittu merkitsevää eroa on kuvassa 8 esitetty niille yhteinen tuottavuuskäyrä.



Kuva 8. Käyttötuntituotos ( $E_{15}$ ) harvesterilla puun rinnan-  
korkeusläpimitan funktiona.

Fig. 8. Output per gross effective time ( $E_{15}$ ) as a function  
of breast height diameter of tree in harvester  
operation.

Taulukko 11. Harvesterin tehotyöajan menekit ja niiden jakaantumat  
 Table 11. Effective working time expenditure of harvester

| Työvaihe<br>Work element               | Tehotyöajan menekki - Effective working time |                     |      |                            |                     |      |
|--|--|---------------------|------|----------------------------|---------------------|------|
|  | Rangan teko - Long lenght bolts              |                     |      | Kuitupuun teko - 3-m bolts |                     |      |
|  | cmin/puu<br>tree                             | cmin/m <sup>3</sup> | %    | cmin/puu<br>tree           | cmin/m <sup>3</sup> | %    |
| Tyhjänä ajo<br>Driving without burden  | 15,1   | 559,3               | 25,7 | 18,0                       | 517,2               | 27,4 |
| Puun otto<br>Taking of trees           | 8,5  | 314,8               | 14,5 | 7,1                        | 204,0               | 10,8 |
| Ajo puun kanssa<br>Driving with burden | 12,5   | 463,0               | 21,3 | 11,5                       | 330,5               | 17,4 |
| Karsinta<br>Branching                  | 18,5   | 685,2               | 31,5 | 24,1                       | 692,5               | 36,6 |
| Latvan poisto<br>Removing of top       | 4,1  | 151,9               | 7,0  | 5,1                        | 146,6               | 7,8  |

Aikaisemmassa tutkimuksessa on vastaavalla ajouravälillä saatu n 10 % pienempiä käyttötuntituotoksia. Ajouravälin leventäminen 30 m:n pienensi tällöin käyttötuntituotosta n. 23 % ja teko kasoihin palstalle lisäsi sitä n. 7 %. Kustannuksiltaan edullisin harvesterikorjuketju oli palstalle tekoon ja pitkäulotteisella kuormaimella varustetulla kuormatraktorilla ajoon perustuva. Kun Makeri-harvesterin tuotoksia verrattiin hakkuuseen miestyönä, muodostui harvesteri yksikkökustannusten suhteen kilpailukykyiseksi, jos sen käyttötuntikustannukset olivat menetelmästä riippuen alle 90-110 mk (MELKKO 1979). Tällöin ei ole otettu huomioon organisatorisia vaikeuksia harvesterin käytössä. Puolassa ja Länsi-Saksassa on saatu alhaisempia tuottavuuslukuja. Tämä on johtunut osittain pitemmästä ajouravälistä ja suuremmasta jäävän puuston tiheydestä (HAKKILA ja WOJCIK 1980).

#### 8. LAAHUSJUONTO PIENTRAKTORILLA

Juontopankolla ja kuormaimella varustettua MAKERI-pientraktoria tutkittiin kokopuiden ja harvesterilla tehtyjen rankojen laahusjuonossa. Kuormakohtaiset tehotyöajat ja niiden jakaantumat olivat taulukon 12 mukaiset. Keskimääräinen juontomatka oli vain 56 m.

Taulukko 12. Laahusjuontotraktorin tehotyöajan menekit ja niiden jakaantumat

Table 12. Effective working time expenditure of skidder

| Työvaihe<br>Work element  | Tehotyöajan menekki - Effective working time |                     |      |                                      |                     |      |
|---|--|---------------------|------|--------------------------------------|---------------------|------|
|   | Kokopuiden juonto<br>Whole-trees             |                     |      | Rankojen juonto<br>Long length bolts |                     |      |
|   | cmin/kuorma<br>load                          | cmin/m <sup>3</sup> | %    | cmin/kuorma<br>load                  | cmin/m <sup>3</sup> | %    |
| Tyhjänä ajo<br>Driving unloaded                                 | 108,1  | 245,1               | 17,6 | 90,4                                 | 151,8               | 14,6 |
| Kuormaus +<br>kuormausajo<br>Loading and driving<br>for loading | 290,7  | 659,1               | 47,4 | 299,1                                | 502,4               | 48,2 |
| Kuormattuna ajo<br>Driving loaded                               | 107,5  | 243,7               | 17,5 | 81,6                                 | 137,1               | 13,1 |
| Purkaminen<br>Unloading   | 107,1  | 242,8               | 17,5 | 149,8                                | 251,6               | 24,1 |

Kuormaus ja kuormausajo ovat vieneet lähes puolet tehotyöajasta. Osittain tämä johtui lyhyestä juontomatkastasta. Ajonopeudet olivat seuraavat:

|                   |               | Ajonopeus, m/min |
|-------------------|---------------|------------------|
| Kokopuiden juonto | Ajo tyhjänä   | 64,8             |
|                   | " kuormattuna | 55,2             |
| Rankojen juonto   | " tyhjänä     | 66,6             |
|                   | " kuormattuna | 64,8             |

Ajonopeudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin kuormajuonnossa.

Käyttötuntituotokset olivat taulukon 13 mukaiset. Tuottavuus oli selvästi alhaisempi kuin kuormajuonnossa. Tämä johtui pienestä kuorman koosta, joka kokopuiden juonnossa oli ksm. 0,45 m<sup>3</sup> ja rankojen juonnossa ksm. 0,60 m<sup>3</sup>. Puolassa on saatu selvästi suurempia tuotoksia (100 m juontomatalla 7 - 8 m<sup>3</sup>/h), mikä johtui suuremmasta kuorman koosta ja ajonopeudesta täysin tasaisella hiekkamaalla (HAKKILA ja WOJCIK 1980).

Taulukko 13. Käyttötuntituotokset laahusjuonnossa  
 Table 13. Outputs per gross effective time of skidder

| Juontomatka, m<br>Skidding<br>distance, m | Käyttötuntituotos, m <sup>3</sup> /h - Output per gross effective time       |   |   |   |
|---|--|---|---|---|
|   | Kokopuiden juonto - Whole trees  |   | Rankojen juonto - Long length bolts   |   |
|   | Purkaminen pank-<br>ko avaamalla<br>Unloading by<br>opening the<br>hydrotong | Purkaminen<br>kuormaimella<br>Unloading by<br>grip loader | Pukaminen pank-<br>ko avaamalla<br>Unloading by<br>opening the<br>hydrotong | Purkaminen<br>kuormaimella<br>Unloading by<br>grip loader |
| 50  | 5,0  | 3,5   | 6,8   | 5,3   |
| 100                                       | 3,8  | 2,9   | 5,6   | 4,5   |
| 150                                       | 3,1  | 2,4   | 4,7   | 4,0   |
| 200                                       | 2,6  | 2,1   | 4,1   | 3,5   |

## 9. PUUSTON VAURIOITUMINEN

### 91. Kuormajuonto

Kuormajuonnon vaurioita tutkittiin palstojen 1 - 4 osalta kesäolo-  
 suhteissa ja 5 - 7 osalta keväällä, jolloin routa oli juuri sula-  
 massa. Kuormatraktori, tekomenetelmä ja puulajisuhteet olivat seu-  
 raavat:

| Palsta | Kuormatraktori | Tekomenetelmä                 | Puulajisuhteet |       |       |
|--------|----------------|-------------------------------|----------------|-------|-------|
|        |                |                               | Mänty          | Kuusi | Koivu |
| 1      | Makeri         | Kasoihin ajo-<br>uran varteen | 99 %           | 0 %   | 1 %   |
| 2      | "              | "                             | 100 %          | 0 %   | 0 %   |
| 3      | "              | "                             | 97 %           | 2 %   | 1 %   |
| 4      | "              | "                             | 25 %           | 57 %  | 18 %  |
| 5      | Norcar         | "                             | 3 %            | 81 %  | 16 %  |
| 6      | "              | Leka-menetelmä                |                |       |       |
| 7      | Valmet 872 K   | Kasoihin ajo-<br>uran varteen |                |       |       |

Ajouran leveys mitattiin jokaisen vauriopuun kohdalta. Ajouran le-  
 veytenä pidettiin ajojälkeen nähden kohtisuorassa suunnassa olleen  
 pystypuiden, kivien tai muiden esteiden rajoittamaa "kulkuaukkoa".  
 Tällainen ajouran leveyden mittaustapa antaa leveydelle aina jonkin  
 arvon, vaikka itse ajouran takia ei puuta olisi jouduttu poista-  
 maankaan. Taulukossa 14 on esitetty näin saadut ajourien leveydet,  
 ajouravälit ja jäävä puusto.

Taulukko 14. Jäävän puuston tiheys, keskimääräinen ajouraväli sekä ajourien leveys vauriopalstoilla

Table 14. Density of remaining trees, space between strip roads and average width of strip roads

| Palsta<br>Chance | Jäävä puusto, kpl/ha<br>Remaining trees,<br>number/ha | Keskim. ajouraväli, m<br>Average space between<br>strip roads | Keskim. ajourien leveys, cm<br>Average width of strip roads |
|------------------|---|---|---|
| 1                | 1042  | 15  | 284   |
| 2                | 976   | 17  | 329   |
| 3                | 1079  | 21  | 316   |
| 4                | 1151  | 18  | 341   |
| 5                | } 865   | "   | 305   |
| 6                |   | "   | 287   |
| 7                |   | "   | 403   |

Taulukossa 15 on esitetty vaurioituneiden puiden osuudet jäävästä puustosta. Eniten vaurioita aiheutti keskiraskas kuormatraktori, mutta ero pientraktoreihin oli pieni. Teko hakkuumiehen suunnitelmien ajourien varteen Leka-menetelmällä johti myös vähän suurempaan vaurioprosenttiin kuin teko valmiiksi suunnitellun ajouran varteen. Ero oli kuitenkin varsin pieni ja vauriot lievempiä, joten ero voi olla satunnainen. Runkovaurioiden laatu on esitetty taulukossa 16. Eniten runkovaurioita aiheutti keskiraskas kuormatraktori. Sen sijaan juurivaurioita syntyi ko. työmaalla yhtä paljon kummallakin traktortyypillä (taulukko 18).

Juurivaurioiden syntymiseen vaikuttaa pääasiassa raiteiden muodostuminen. Tutkimuksessa mitattiin seuraavia raiteen syvyyksiä:

|                       |               |
|-----------------------|---------------|
| Makeri - pientraktori | 9,5 - 12,8 cm |
| Norcar - "            | 8,7           |
| VALMET                | 7,6           |

Vaikka pientraktoreiden pintapaine on pieni, kuluttavat telat ja ohjaus pintamaastoa, koska raiteen muodostus on ollut suurempaa kuin keskikokoisella kuormatraktorilla. Vertailua kuitenkin haittaa se, että ajopalstojen välillä on saattanut olla eroa.

Taulukko 15. Varioituneiden puiden osuus jäävästä puustosta kuormajuonnossa

Table 15. Damages to remaining trees after forwarding

| Tekomenetelmä<br><i>Cutting method</i>  | Palsta<br><i>Chance</i> | Traktori<br><i>Tractor</i> | Runkovauriopuita<br><i>Stem damages</i> | Juurivauriopuita<br><i>Root damages</i> | Puita, joissa runko- tai juurivaurio tai mottot<br><i>Trees with stem or root damage</i> |
|---|-------------------------|----------------------------|---|---|--|
| % jäävästä runkoluvusta - % of remaining trees                                    |                         |                            |   |   |  |
| Kasoihin ajo-<br>uran varteen<br><i>Bunching<br/>alongside the<br/>strip road</i> | 1                       | Makeri                     | 2,0                                     | 0,3                                     | 2,4  |
| "   | 2                       | "                          | 1,3                                     | 0,1                                     | 1,4  |
| "   | 3                       | "                          | 2,0                                     | 2,3                                     | 4,3  |
| "   | 4                       | "                          | 1,3                                     | 1,4                                     | 2,7  |
| "   | 5                       | Norcar                     | 1,0                                     | 2,9                                     | 3,6  |
| Leka-menetelmä<br><i>Scape method</i>   | 6                       | "                          | 1,6                                     | 3,0                                     | 4,0  |
| Kasoihin ajo-<br>uran varteen<br><i>Bunching<br/>alongside the<br/>strip road</i> | 7                       | VALMET<br>872 K            | 2,2                                     | 2,9                                     | 4,7  |

Taulukko 16. Runkovaurioiden laatu kuormajuonnossa

Table 16. Quality of stem damages after forwarding

| Palsta<br><i>Chance</i> | Kuorivaurio<br><i>Bark damaged</i><br>%-vaurioista | Kuori irronnut<br><i>Bark loosened</i><br>- % of damages | Puuainesvaurio<br><i>Wood damaged</i> | Vaurion keskim. pinta-ala,<br><i>Average area of damage</i><br>cm <sup>2</sup> /puu - tree |
|-------------------------|--|--|---------------------------------------|--|
| 1                       | 15   | 85   | -                                     | 135  |
| 2                       | 23   | 77   | -                                     | 75   |
| 3                       | 9  | 89   | 3                                     | 106  |
| 4                       | 20   | 80   | -                                     | 122  |
| 5                       | -  | 88   | 12                                    | 204  |
| 6                       | 16   | 68   | 16                                    | 199  |
| 7                       | 11   | 60   | 29                                    | 331  |



Taulukko 17. Juurivaurioiden laatu kuormajuonnossa  
 Table 17. Quality of root damages after forwarding

| Palsta<br>Chance | Kuorivaurio<br>Bark damaged<br>5-vaurioista | Kuori irronnut<br>Bark loosened<br>- % of damages | Puuainesvaurio<br>Wood damaged | Juuri poikki<br>Root broken |
|------------------|---|---|--------------------------------|-----------------------------|
| 1                | -   | 64  | 36                             | -                           |
| 2                | -   | 50  | -                              | 50                          |
| 3                | -   | 20  | 47                             | 33                          |
| 4                | -   | 23  | 45                             | 32                          |
| 5                | -   | 4   | 90                             | 6                           |
| 6                | -   | 27  | 69                             | 4                           |
| 7                | -   | 11  | 86                             | 3                           |

Aikaisemmassa tutkimuksessa Makeri-kuormatraktorilla saatiin juurivaurioituneiden puiden osuudeksi männikössä 0,1 - 0,9 % ja kuusikossa 2,2 - 8,5 %, kun ajouran leveys vaihteli 3 - 2 m (MIKKONEN ja YLÄHEMMILÄ 1977). Toisessa tutkimuksessa alkutalvella ei juurivaurioita syntynyt lainkaan kuormajuonnossa (THESSLUND 1978).

Runkovaurioita syntyi ensin mainitussa tutkimuksessa männikössä 0,1 - 0,6 % ja kuusikossa 0,2 - 3,1 % jäävästä puustosta ja viimeksi mainitussa 0,4 - 1,0 %. Tämän tutkimuksen vaurioprosentit jäävät kirjallisuustietojen vaihteluvälin sisään. Puolassa kaato-kasauskoneen ja pientraktorilla suoritetun kuormajuonnon jälkeen oli vaurioitunut 2,8 % männikön runkoluvusta (HAKKILA ja WOJCIK 1980).

## 92. Kaato-kasauskone

Aineisto käsittää vain työskentelyä kaato-kasauskoneella VT- ja CT-metsätyypeillä kesäaikaan. Maanpinnan rikkoutumista selvitettiin viideltä eri palstalta. Kaikki koepalstat olivat hiekkamaalta. Ympyräkoaloja, joiden ala oli 4 m<sup>2</sup> otettiin yhteensä 287 kappaletta. Jäävän puuston ja poistetun puuston tiheydet on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Koepalstojen jäävän ja poistetun puuston runkoluvut/kpl/ha ja kunnan paksuus

Table 18. Number of remaining and removed trees and thickness of raw humus

| Koepalsta<br><i>Chance</i>     | Jäävä puusto, kpl/ha<br><i>Remaining trees, number/ha</i> | Poistettu puusto, kpl/ha<br><i>Removed trees, number/ha</i> | Kunnan paksuus, cm<br><i>Thickness of raw humus</i> |
|--------------------------------|---|---|---|
| 1                              | 1125  | 417   | 7,9   |
| 2                              | 1328  | 859   | 12,0  |
| 3                              | 2132  | 1544  | 9,1   |
| 4                              | 1170  | 691   | 8,7   |
| 5                              | 1061  | 833   | 7,1   |
| Keskiarvo<br><i>In average</i> | 1394  | 871   |   |

Koepalojen perusteella laskien saatiin koskemattoman maanpinnan osuudeksi 74,9 - 85,7 % palstan pinta-alasta. Kivennäismaahan saakka rikkoutuneen maanpinnan osuus oli 8 - 6 % (taulukko 19).

Taulukko 19. Maanpinnan rikkoutuminen koepalstoilla

Table 19. Breaking of the soil

| Palsta<br><i>Chance</i>        | Koskemattoman maanpinnan osuus pinta-alasta, %<br><i>Untouched surface, %</i> | Kivennäismaahan asti rikkoutuneen maanpinnan osuus, %<br><i>Broken to mineral soil</i> | Jäljen maksimisyvyyden keskiarvo koepalstalla, cm<br><i>Maximum depth of track in average, cm</i> |
|--------------------------------|---|--|---|
| 1                              | 85  | 8  | 9,3   |
| 2                              | 82  | 12   | 11,0  |
| 3                              | 86  | 10   | 11,8  |
| 4                              | 75  | 20   | 11,7  |
| 5                              | 81  | 16   | 9,5   |
| Keskiarvo<br><i>In average</i> | 81,8  | 13,2   | 10,7  |

Kivennäismaahan saakka rikkoutuneen maanpinnan osuus kuvaa lähinnä sitä osaa pinta-alasta, jolla rikkoutuneen pinnan syvyyden perusteella on mahdollisesti juurivaurioitakin. LAITAKARIN (1929) mukaan männyn pintajuuriston keskisyvyys riippuu puun koosta ja maalajista seuraavasti:

|                                 | d <sub>1,3</sub> , cm |      |       |       |      |
|---------------------------------|-----------------------|------|-------|-------|------|
|                                 | <5                    | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20>  |
| hiekkamaa                       | 5,6                   | 6,3  | 8,8   | 13,7  | 10,6 |
| vähäkivinen moreeni ja somero   | 7,8                   | 9,5  | 11,5  | 10,9  | 13,5 |
| runsaskivinen moreeni ja somero | 10,6                  | 12,0 | 12,1  | 14,1  | 15,4 |

Metsätyyppin parantuessa on pintajuuriston todettu syvenevän.

Pintajuuristo kulkee kivennäismaassa. Vain aivan pienten taimien juuret ovat humuskerroksessa. Juuristojen laajuus on niin suuri (20 - 60 m<sup>2</sup>), että palstalla kulkeva kone kulkee aina juurien yli. Koneen vaikutus juuristoon riippuu silloin sen jättämien jälkien tai puristusvaikutuksen syvyydestä. Vain läheltä tyveä vaurioituneet vahvemmat juuret pystytään juuristoa kaivamatta määrittämään tietylle puulle kuuluviksi.

Perusteltua lienee siten tarkastella juurivaurioita kahdelta taholta. Ensin todetaan ne puut, joilla on selvästi havaittavissa ja yksilöitävissä oleva juurivaurio. Sitten tarkastellaan, miten suurella alalla yleensä koneen liikkuminen on vaikuttanut juuristoon. Ei tosin ole olemassa tuloksia, joista voitaisiin tehdä päätelmiä tällaisten juurivaurioitten merkityksestä kasvutappioiden aiheuttajana.

Juurivaurioita, jotka voidaan osoittaa tietylle puulle, tutkittiin lähemmin kahden eri kuljettajan jäljiltä yhteensä kahdeksalta 30 x 30 m:n koealalta. Keskimääräiset jäävän puuston tiheydet ja juurivaurioituneitten puiden osuudet olivat seuraavat:

|              | jääviä puita,<br>kpl/ha | juurivauriopuiden<br>osuus, % |
|--------------|-------------------------|-------------------------------|
| kuljettaja 1 | 1148                    | 2,2                           |
| kuljettaja 2 | 1187                    | 4,5                           |

Mainittujen kahdeksan koealan perusteella ei vielä voitu, suuresta hajonnasta johtuen, analysoida juurivauriopuiden määrän riippuvuutta jäävän puuston tiheydestä.

Kuljettaja 1:n työtekniikka voidaan pitää hyvänä, sen sijaan kuljettaja 2:n työtekniikka oli korkeintaan tyydyttävä. Selvin ero oli työskentelyn suunnittelussa ja järjestelmällisessä etenemisessä. Kuljettaja 2 käytti eräänlaisia apu-uria, joilta käsin pistoja tehden puut kerättiin taakkaan.

Runkovauriot inventoitiin kaikkiaan 15 eri palstalta 0,09 ha:n suurusilta koealoilta neljän eri kuljettajan työskentelyn jäljiltä yhteensä 2,1 ha:n alalta. Kahden kuljettajan työtekniikka oli hyvä ja kahden tyydyttävä. Keskimääräinen jäävän puuston tiheys oli 1256 kpl/ha ja keskimääräinen runkovauriopuiden osuus 6,0 %.

Runkovauriopuiden osuuden riippuvuutta jäävän puuston tiheydestä kuvasi yhtälö:

$$y = 0,0059x - 1,38 \quad R^2 = 0,22$$

jossa  $y$  = runkovauriopuiden osuus jäävän puuston runkoluvusta, %

$x$  = jäävän puuston tiheys, kpl/ha

Yhtälön selitysaste jäi varsin alhaiseksi. Sen mukaan vaurioprosentti vaihtelee puuston tiheyden mukaan seuraavasti:

| puuston tiheys, kpl/ha | runkovaurio-% |
|------------------------|---------------|
| 800                    | 3,3           |
| 1600                   | 8,1           |

Runkovaurioista 33 % oli sellaisia, joissa vain kuori oli rikkoutunut ja 67 % ulottui puuhun saakka. Kuoressa olleiden vaurioiden keskimääräinen koko oli 158 cm<sup>2</sup> ja puuhun saakka ulottuneiden 139 cm<sup>2</sup>. Vaurioiden alareunan keskimääräinen korkeus maanpinnasta oli 32 cm.

Useimmiten vaurion aiheuttajana oli peruskoneen tela, seuraavaksi eniten niitä aiheutti kaatolaite. Varsinkin kuljettajalla 1 kaatolaitteen aiheuttamien vaurioiden osuus oli suuri. Metsikössä ei ollut suoritettu taimiston perkausta kunnolla, ja puut kasvoivat osittain tuppaisissa erittäin lähekkäin (taulukko 20).

Taulukko 20. Runkovauriot aiheuttaneen koneenosan mukaan jaoteltuina  
 Table 20. Stem damages caused by machine components

| Vaurion aiheuttaja<br><i>Cause of damage</i>         | Kuljettaja - <i>Driver</i>                        |    |    |    | yht.<br><i>total</i> |
|--|---|----|----|----|----------------------|
|  | 1   | 2  | 3  | 4  |                      |
|  | osuus vaurioista, %<br><i>share of damages, %</i> |    |    |    |                      |
| kaatolaite<br><i>felling device</i>                  | 45  | 5  | 16 | 21 | 26                   |
| puut taakassa<br><i>burden</i>                       | 9   |    |    |    | 4                    |
| peruskoneen tela<br><i>crawler</i>                   | 40  | 85 | 46 | 72 | 51                   |
| peruskoneen ohjaamo<br><i>capin</i>                  | 6   | 5  | 24 | 7  | 7                    |
| peruskoneen runko<br><i>frame of the prime mover</i> | -   | 5  | 14 | -  | 11                   |

93. Kaato-kasaus-, harvesteri- ja laahusjuontokone

Edellä esitetyn kaato-kasaustyömaan lisäksi tutkittiin kaato-kasaus-, ja harvesteri ja laahusjuontokonetta I maastoluokan leimikossa, jossa jäävän puuston tiheys oli 1135 - 1203 kpl/ha. Poistettavien puiden keskitilavuus oli 27 - 34 dm<sup>3</sup>/runko. Ajourien leveys oli laahusjuonnossa 2,5 m ja ajouraväli 15 m. Juurivaurioihin laskettiin mukaan kaikki vaurioituneet juuret, joista pystyttiin toteamaan ae, mille puulle ne kuuluivat. Vaurioituneiden puiden osuus käy ilmi taulukosta 21.

Taulukko 21. Vaurioituneiden puiden osuudet

Table 21. Damages to remaining trees

|  | Runkovaurioitu-<br>neita puita, %<br><i>Trees with stem<br/>damage, %</i> | Juurivaurio-<br>puita, %<br><i>Trees with<br/>root damage, %</i> | Vaurioituneita<br>puita, % 1)<br><i>Trees with root<br/>or/and stem damage, %</i> |
|--|---|--|---|
| Kaato-kasaus<br><i>Feller-buncher</i>                          | 2,2   | 15,0   | 16,7  |
| Harvesteri, rangan teko<br><i>Harvester, long length bolts</i> | 1,2   | 17,8   | 19,0  |
| Harvesteri, pölkkyjen teko<br><i>Harvester, 3-m bolts</i>      | 1,3   | 11,4   | 12,4  |
| Laahusjuonto, kokopuut<br><i>Skidder, whole-trees</i>          | 4,4   | 1,3  | 5,7   |
| Laahusjuonto, rangat<br><i>Skidder, long length trees</i>      | 4,0   | 5,7  | 9,7   |

1) juuri- ja/tai runkovaurio

Runkovauriopuiden osuudet ja kaikkien vaurioituneiden puiden osuudet olivat taulukon 21 mukaiset. Erillisten runkovaurioiden määrä ja vaurioiden yhteenlaskettu pinta-ala runkoa kohti ilmenevät seuraavasta asetelmasta:

|                         | Runkovaurioita,<br>kpl/runko | Vauriopinta-ala,<br>cm <sup>2</sup> /runko |
|-------------------------|------------------------------|--|
| Kaato-kasaus            | 1                            | 148  |
| Harvesteri, pöllin teko | 1                            | 33   |
| Harvesteri, rangan teko | 1                            | 65   |
| Laahusjuonto, kokopuu   | 1,2                          | 83   |
| Laahusjuonto            | 1,1                          | 55   |

Runkovauriot jakautuivat aiemmin esitettyihin vaurioluokkiin seuraavasti:

|                         | Vaurioluokka |        |        | yht.  |
|-------------------------|--------------|--------|--------|-------|
|                         | 0            | 1      | 2      |       |
| Kaato-kasaus            | 40,0 %       | 60,0 % | 0,0 %  | 100 % |
| Harvesteri, pöllin teko | 0,0 "        | 50,0 " | 50,0 " | 100 " |
| Harvesteri, rangan teko | 16,7 "       | 33,3 " | 16,7 " | 100 " |
| Laahusjuonto, kokopuu   | 25,0 "       | 75,0 " | 0,0 "  | 100 " |
| Laahusjuonto, ranka     | 20,0 "       | 80,0 " | 0,0 "  | 100 " |

Juonnon aikana syntyneet vauriot näyttivät olevan lievempiä kuin kaato-kasauskoneen tai harvesterin aiheuttamat.

Jos juurivaurioista otetaan mukaan vain ne, joiden etäisyys rungosta on 0,5 m tai vähemmän, vaihtelivat juurivaurioiden osuudet 0,9 - 11,7 %.

Kuorma- ja laahusjuonnossa traktori liikkuu tavallisesti ajourilla, jolloin koneen vaikutukselle alttiin pinta-alan osuus on paljon pienempi kuin liikuttaessa puulta puulle. Koska koneen ei ajourilla liikkuessaan tarvitse tehdä jyrkkiä mutkia, rikkoutuu maanpinta telojen vaikutuksesta ilmeisesti paljon vähemmän.

Puulta puulle liikuttaessa jakaantuivat juurivauriot vaurioluokkiin seuraavasti:

|                         | Vaurioluokka |        |        |        | Yht.  |
|-------------------------|--------------|--------|--------|--------|-------|
|                         | 0            | 1      | 2      | 3      |       |
| Kaato-kasaus            | 4,2 %        | 18,8 % | 22,8 % | 54,2 % | 100 % |
| Harvesteri, pöllin teko | -            | 23,4 " | 23,4 " | 53,2 " | 100 " |
| Harvesteri, rangan teko | 1,7 %        | 17,0 " | 28,8 " | 52,5 " | 100 " |

- Vaurion laatu: 0 kuori rikki, mutta puu ei näkyvissä
- 1 kuori lähtenyt vauriokohdasta niin, että puu on näkyvissä
- 2 vaurio niin syvä, että puuta rikkoutunut
- 3 juuri poikki

Hieman yli puolet vaurioituneista juurista oli katkennut. Katkenneet juuret olivat useimmiten melko ohuita keskiläpimitan ollessa 1,2 - 1,3 mm. Vaurioituneita juuria oli keskimäärin 1,3 kpl/puu, kun vaurioituneiden juurien määrä jaettiin vaurioituneiden puiden määrällä.

Juurivaurioiden suuri määrä selittyy sillä, että hyvin pienetkin katkenneet juuret on laskettu juurivaurioksi. Lisäksi hiekkainen maalaji mäntykankaalla ja vuodenaika (sula maa) ovat edesauttaneet juurivaurioiden syntymistä.

Aikaisemmassa harvesteritutkimuksessa runkovaurioiden osuudet olivat 0,6 - 4,2 % (MELKKO 1979). BOBCAT M 721 kaatokasauskoneella runkovaurioprocentit olivat 4,9 - 7,2, kun jäävän puuston tiheys oli 1068 - 1428 kpl/ha. BOBCAT M 721 kaato-kasauskoneen, jonka pyörien päällä ei ollut teloja, todettiin aiheuttavan vain vähän juuristovaurioita (HAKKILA ym. 1976). Puolassa kaato-kasauskoneen tai harvesterin ja runkojuonnon jälkeen vaurioprocentit vaihtelivat 1,2 - 5,9 (HAKKILA ja WOJCIK 1980).

## 10. TULOSTEN TARKASTELU

Kuten yleensä pientraktoritutkimukset rajoittui tämäkin tutkimus edullisiin maasto-olosuhteisiin. Tietävästi kysymyksessä oli kuitenkin ensimmäinen vertaileva työntutkimus, jossa samalla leimikolla oli vertailtavana myös tavanomainen metsätraktori. Kuormajuonnossa pientraktorin tuottavuus oli 46 - 49 % keksikokoisen kuormatraktorin tuottavuudesta. Suurin syy eroon oli pienempi kuorman koko ja suurempi kuormaus- ja kuormausajokaika pientraktorilla. Viimeksi mainittu ero johtuu osittain erilaisesta tekomenetelmästä pientraktorilla.

Toisaalta kapeampi ajouraväli pientraktorilla säästää tekokustannuksia siinä määrin, että koko korjuuketju pientraktorilla oli välittömien korjuukustannusten osalta menetelmästä ja laskentatavasta riippuen vain n. 1 - 4 mk/m<sup>3</sup> kalliinpi kuin keskikokoisen kuormatraktorin käyttöön perustuvan korjuuketjun. Laskelmassa ei ole otettu huomioon siirtokustannuksia eikä koneiden käyttöön liittyviä organisatorisia kysymyksiä.

Se kompensoivatko puuntuotannolliset edut korkeammat korjuukustannukset, jää tämän tutkimuksen ulkopuolelle. Lähinnä tällöin tarvittaisiin tietoa kapeiden (2,5 - 3,0 m) ajourien, jotka kuitenkin sijaitsevat tiheämmässä, vaikutuksista verrattuna n. 30 m välein sijaitseviin 4,0 - 4,5 m leveiden ajourien vaikutukseen. BUCHTin (1977) esittämien käyrien mukaan 3 m ajoura 20 m välein on kasvun suhteen vain hieman edullisempi kuin 4 m ajoura 30 m välein. Toisaalta alle 3 m ajouraleveys edellyttää enää hyvin vähän puiden systemaattista poistamista. Myös myöhemmin pohdittavien puuston vaurioitumislukujen rahallinen kvantifioiminen on vaikeaa.

Pientraktorilla ajettaessa voidaan soveltaa LEKA-menetelmää kapealla ajouravälillä. Ergonomisten etujen lisäksi ei tämän aineiston mukaan kuitenkaan päästä ainakaan merkittäviin kustannussäästöihin. Lisäksi tiheä ajouraverkosto lienee puuntuotannollisesti epäedullisempi. Kasoihin teossa ei pölkkyjen kantamisesta johtuvia ergonomisia ongelmia voida poistaa, koska pientraktoreihin ei voida asentaa pitkälle ulottuvia kuormaimia. Toisaalta pölkkyjen koko ensiharvennuksessa on pienempi kuin myöhemmissä harvennuksissa. Ja pienempi ajouraväli on myös ergonominen etu.



Kun pientraktoria käytetään puulta puulle siirtyvänä kaato-kasaus-koneena tai harvesterina, on koneiden tuottavuus sitä luokkaa, että ihmistyövaltaisten menetelmien kanssa päästään välittömien kustannusten suhteen kilpailukykyiseen tulokseen, jos koneiden käyttökustannus ei ylitä 100 - 130 mk. Puulta puulle siirtyvillä koneilla saatiin ver-raten suuria juurivauriomääriä. Kun Keski-Euroopassa tehdyistä tutki-muksista ei ole raportoitu yhtä suuria lukuja, on ilmeistä että juuri-vaurioihin vaikuttaa suuresti maaperän laatu. Hienojakoisilla maa-perillä CT- ja VT-tyypin kankailla em. vaurioituminen kuitenkin näyt-tää puulta puulle siirtyvien koneiden suurimmalta haittatekijältä.

Laahusjuonnon tuottavuus on pienestä kuorman koosta johtuen selvästi alhaisempi kuin kuormajuonnon vastaavalla ajomatkalla. Näin myös yksikkökustannukset ovat suuret.

Kun pientraktoria käytetään kuormajuontoon, on puuston vaurioitumis-riski pieni, jos ajourat ovat riittävän leveät ja suorat ja ainakin kuusikossa ajo tehdään jäätyneen maan aikaan. Sopiva ajouran pienin leveys männikössä näyttää olevan 2,5 - 3,0 m ja kuusikossa 3 m. Raiteen muodostus oli pienestä pintapaineesta huolimatta yllättävän suurta ilmeisesti telojen kuluttavan vaikutuksen vuoksi. Tämän vuoksi ainakin kuusikoissa ajo tulisi ajoittaa jäätyneen maan aikaan. Laahusjuonnossa runkovaurioita syntyi enemmän kuin kuormajuonnosta. Puulta puulle ajettaessa on erityisesti juuristovaurioiden riski suuri ainakin sulalla maalla ja hiekkaisilla CT- ja VT-metsätyypeillä. Runkovaurioiden riski lisääntyy puuston tiheyden lisääntyessä ja kuljettajan ajotavan huonotessa.

## 11. TIIVISTELMÄ

Tutkittiin Makeri- ja Norcar-pientraktoreita ja keskiraskasta Valmet 872 kuormatraktoria kuormajuonnossa. Kahta viimeksi mainittua verrattiin samalla leimikolla, mutta eri kuljettajilla. Lisäksi tutkittiin Makeria kaato-kasauskoneena, harvesterina ja laahusjuontokoneena. Puutavaran hakkuuta tutkittiin seuraavilla menetelmillä:

- Menetelmä 1. Teko pientraktoria varten ajouran varteen kasoihin 20 m ajouravälillä.
- Menetelmä 2. Teko LEKA-menetelmällä (HARSTELA ym. 1977) 15 m ajouravälillä. Tekomies suunnitteli ajourat.
- Menetelmä 3. Teko keskikokoista kuormatraktoria varten ajouran varteen kasoihin 30 m ajouravälillä.

Ajourien leveys pientraktoria varten oli 2,0 - 3,0 m. LEKA-menetelmää käytettäessä tekemies suunnitteli ajourat. Tutkimukset suoritettiin ensiharvennuksissa maastoluokassa 1 (taulukko 1).

Hakkuussa LEKA-menetelmällä kasausmatka oli 19 - 42 % lyhyempi kuin teossa ajouran varteen 20 m ajouravälillä. Suhteellinen tehotyöaika hakkuumenetelmissä riippuu rungon koosta. Tässä aineistossa runko-kohtainen tehotyöaika oli LEKA-menetelmällä 6 - 11 % pienempi kuin teossa ajouran varteen (kuva 4). Sekä LEKA-menetelmässä että palstatienvarteen teossa pölkkyjen pituus oli n. 3 m.

Kuormajuonnossa pientraktorin ajonopeudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin keskikokoisella kuormatraktorilla. Sen sijaan pientraktorilla kuormaustaakan ja kuorman koko oli pienempi ja kuormausajomatka kuutiyksikköä kohti suurempi kuin keskikokoisella kuormatraktorilla. Näin myös kuutiyksikköä kohti lasketut ajanmenekit olivat pientraktorilla suuremmat (taulukot 3 - 6). Käyttötuntituotos pientraktorilla oli 46 - 49 % keskikokoisen kuormatraktorin tuotoksesta (taulukko 7).

Tutkimusolosuhteissa lasketut kuormajuontoon perustuvien korjuuketjujen tuottavuusluvut on esitetty taulukossa 8. Pienin ihmistyöpanos oli keskikokoisen kuormatraktorin käyttöön perustuvassa korjuuketjussa, mutta erot pientraktorikorjuuketjuihin olivat pienet. Pientraktorikorjuuketjuista LEKA-menetelmään perustuvalla korjuuketjulla oli hie-  
man pienempi ihmistyötarve.

Kustannuslaskelmissa pientraktorin käyttötuntikustannuksina käytettiin 90 - 110 mk ja keskikokoisen kuormatraktorin 143 mk. Tutkimusolosuhteissa keskikokoisen kuormatraktorin käyttöön perustuvan korjuuketjun välittömät korjuukustannukset olivat 1 - 4 mk/m<sup>3</sup> pienemmät kuin pientraktorikorjuuketjujen. Koska olosuhteet leimikolla 1 olivat poikkeukselliset, näyttää LEKA-menetelmään perustuva korjuuketju välittömien korjuukustannusten suhteen edullisemmalta pientraktoriketjulta. Koska tulokset menivät ristiin, on tähän johtopäätökseen kuitenkin suhtauduttava varauksin.

Kaato-kasauskonetta tutkittiin 15 m ajouravälillä ja kasat sijoitettiin ajouran varteen viistosti ajosuuntaan nähden. Kone palasi yleensä ajouralle takaperin samaa ajoreittiä kuin mennessäkin. Puiden lukumäärän kasvu hidasti taakan kanssa ajoa, mutta taakan kuutiomäärä ei. Puun ottoaika ei riippunut merkittävästi taakan puiden lukumäärästä eikä puun koosta. Poikkeuksena olivat kaatolaitteen ylärajoilla olevat (22 cm) puut (taulukko 10).

Kaato-kasaustyön tuottavuus riippuu puuston koosta (kuva 6). Käyttötuntituotos vaihteli kuljettajasta ja olosuhteista riippuen 2,0 - 10,5 m<sup>3</sup>/h. Runkokohtainen tuntituotos aleni puiden lukumäärän lisäntyessä taakassa aina 5 puuhun/taakka asti. Näin ollen pieniä puita kannattaa ottaa taakkaan n. 5 kpl. Kirjallisuudessa (HAKKILA ym. 1977) on esitetty pienen (rungan keskikoko 0,03 m<sup>3</sup>) puuston kaadon ja kasauksen olevan ihmistyönä halvempaa kuin kaato-kasauskoneella.

Harvesteria tutkittiin rankojen ja 3-m kuitupuun teossa palstatien varteen 15 m ajouravälillä. Käyttötuntituotos vaihteli 1,1 - 6,7 m<sup>3</sup>/h, kun rungon rinnankorkeusläpimitta vaihteli 6 - 14 cm (kuva 8). Puutavaralajien välillä ei ollut selvää eroa. Eniten aikaa meni ajoon tyhjänä ja taakan kanssa, mutta ajonopeudet olivat kuitenkin suuret. Aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu hieman pienempiä tuottavuuslukuja (MELKKO 1979, HAKKILA ja WOJCIK 1980). MELKOn tutkimuksessa päädyttiin pitämään kustannuksiltaan edullisimpana korjuuketjuna palstalle tekoa harvesterilla ja pitkä ulotteisella kuormaimella varustetulla kuormatraktorilla ajoa. Ihmistyövaltaiseen tekoon verrattuna harvesteri oli kilpailukykyinen v. 1979 hintatason mukaan, jos sen käyttötuntikustannus ei ylittänyt 90 - 110 mk.

Laahusjuontotraktori oli varustettu juontopankolla ja kuormaimella. Sitä tutkittiin kokopuiden ja rankojen juonnossa. Kokopuilla

käyttötuntituotos vaihteli 2,1 - 5,0 m<sup>3</sup>/h juontomatka (50 - 200 m) ja purkamistavasta riippuen. Vastaavat käyttötuntituotokset rankojen juonnossa olivat 3,5 - 6,8 m<sup>3</sup>/h. Tuottavuus oli selvästi alhaisempi kuin kuormajuonnossa, mikä johtui pääasiassa pienestä kuorman koosta. Puolassa on saatu suurempia tuottavuuslukuja, mutta nekin jäävät selvästi kuormajuontoa alhaisemmaksi (HAKKILA ja WOJCIK 1980).

Kuormajuonnossa vaurioitui 1,4 - 4,3 % jäävästä puustosta. Juurivaurioista oli 1,0 - 2,0 % ja runkovaurioita 0,1 - 3,0 % puista. Leimikolla, jossa vertailtavana oli keskikokoinen kuormatraktori vaurioitui pientraktorilla 3,6 - 4,0 % ja keskikokoisella kuormatraktorilla 4,7 % puista (taulukko 15). Vaurioiden laatu on esitetty taulukoissa 16 ja 17. Pientraktorilla syntyi syvemmät raiteet (8,7 - 12,8 cm) kuin keskikokoisella traktorilla (7,6 cm). Vaikka tulokset ovat samalta leimikolta, ovat maaperäolosuhteet kuitenkin saattaneet jossain määrin erota. Aikaisemmissa tutkimuksissa ovat männikössä juurivaurioprosentit olleet pienempiä, mutta runkovauriot ja kuusikon vauriot sopivat kirjallisuudessa esiintyneen vaihtelun sisään (MIKKONEN ja YLÄ-HEMMILÄ 1977, THESSLUND 1978, HAKKILA ja WOJCIK 1980).

Kaato-kasauskonetyön jälkeen tutkittiin maanpinnan rikkoutumista hiekkaisilla VT ja CT-kankailla kesäaikaan. Koskemattoman maanpinnan osuudeksi tuli 74 - 86 %. Kivennäismaahan asti rikkoutuneen maanpinnan osuus oli 8 - 16 % (taulukko 19). Rikkoutuneen maan jäljen keskisyvyys oli 10,7 cm. LAITAKARI n (1929) mukaan männyn pintajuuriston keskisyvyys vaihtelee hiekkaisilla mailla 5 - 11 cm ja runsaskivisillä moreenimailla 10 - 15 cm. Kaato-kasauksessa juurivaurioituneita puita oli 2,2 - 15,0 % ja runkovaurioituneita puita 2,2 %. Harvesterityön jälkeen juuristovaurioituneita puita oli 11,4 - 17,8 % runkovaurioituneita puita 1,2 - 1,3 % (taulukko 21). Sekä kaato-kasaus- että harvesterityössä syntyneiden runkovaurioiden keskimääräinen pinta-ala oli pienempi ja vauriot lievempiä kuin kuormajuonnossa. Runkovaurioiden prosenttinen määrä lisääntyi jäävän puuston tiheyden lisääntymässä seuraavan regressioyhtälön mukaisesti:

$$y = 0,0059x - 1,38 \quad r^2 = 0,22$$

, jossa y = runkovauriopuita, %

x = jäävä puusto, kpl/ha.

Laahusjuonnossa runkovaurioita oli 4,0 - 4,4 % ja juurivaurioita 1,3 - 5,7 % jäävästä puustosta (taulukko 21), joten laahusjuonnossa tuli vaurioita selvästi enemmän kuin kuormajuonnossa.

## KIRJALLISUUTTA

- BUCHT, S. 1977. Vad kostar stickvägarna i tillväxt? Summary: The influence of strip roads on increment at the first thinning in Scots pine forest. Skogen 6:218-222.
- HAAJA, R. 1970. Tutkimus hakkuumiehen suorittamasta kuitupuun kasauksesta. Summary: Study of manual pulpwood bunching. Metsätehon tied. 299:1-16.
- HAKKILA, P., KALAJA, H. & SCHILDT, Y. 1976. BOBCAT M-721 kaato-kasaukoneen männikön ensiharvennuksessa. Summary: Bobcat M-721 feller-buncher in early thinning of scots pine. Folia For. 256:1-20.
- HAKKILA, P., KALAJA, H., SALAKARI, M. & VALONEN, P. 1977. Whole-tree harvesting of the early thinning of pine. Seloste: Kokopuuna korjuu männikön ensiharvennuksessa. Folia For. 333:1-58.
- HAKKILA, P. & WÓJCIK, T. 1980. Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland. Seloste: Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa. Folia For.
- HARSTELA, P., JÄRVINEN, J., TERVO, L. & AHOLAINEN, R. 1977. Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä. (levälleen teko ja LEKA-menetelmä). The study of some short wood methods of cutting in thinning. (Cutting without bunching and SCAPE method). Folia For. 310:1-29.
- KAHALA, M. 1979. Puutavaran kuormatraktorikuljetus ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Forwarder transport of timber- and factors influencing it. Metsätehon tied. 355:1-30.
- LAITAKARI, E. 1929. Männyn juuristo. Summary: The root system of pine (*Pinus silvestris*). Acta For. Fenn. 33:1-306.
- MELKKO, M. 1979. Makeri-harvesteri. Summary: Makeri harvester. Metsätehon kats. 6:1-8.
- MIKKONEN, E. & YLÄ-HEMMILÄ, V. 1977. Makeri-kuormatraktori. Summary: Makeri forwarder. Metsätehon kats. 16:1-8.
- THESSLUND, O. 1978. Jäävän puuston vaurioituminen Makeri-pientraktorilla suoritettussa harvennuspuun lähikuljetuksessa. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koesel. 125:1-6.
- VALONEN, P. 1977. Ajouraväli ja tekomiehen fyysinen kuormittuminen kuitupuun teossa. Summary: Strip road spacing and the physical strain on forest workers during pulpwood cutting. Silva Fenn. 11(4):259-262.

## SUMMARY

### Results

The performance of the Makeri and Norcar small tractors and medium-heavy Valmet 872 forwarder in forwarding was studied. The two last-mentioned were compared in the same stand but manned by different operators. The use of the Makeri as a feller-buncher, harvester and skidder was also studied. The timber was cut by the following methods:

- Method 1. Cutting of timber for a small tractor alongside the strip road into bunches with a strip road spacing of 20 m;
- Method 2. Cutting of timber by the SCAPE (scattered and piled) method (HARSTELA et al.1977) with a strip road spacing of 15 m. The logger planned the strip roads;
- Method 3. Cutting of timber for a medium-heavy forwarder alongside the strip road into bunches with a strip road spacing of 30 m.

The width of the strip roads for the small tractors was 2.0 - 3.0 m. When the SCAPE method was used the logger planned the strip roads. The studies were conducted in first thinnings in terrain class 1 (Table 1).

In cutting by the SCAPE method the bunching distance was 19 - 42 % shorter than in logging alongside the strip road when the spacing was 20 m. The relative effective working time in the cutting methods depends on the stem size. The effective working time per stem in this material was 6 - 11 % smaller with the SCAPE method than in cutting alongside the strip road

(Fig.4). The bolt length was about 3 m in both the SCAPE method and in cutting alongside the strip road.

The driving speeds of the small tractors and medium-heavy forwarders in forwarding were of the same order. But the size of the grab load and the load was smaller and the loading strip was longer per volume unit with the small tractors than with the medium-heavy forwarder. Hence, the time expenditure per volume unit was greater for the small tractor (Tables 3 - 6). The productivity of the small tractor was 46 - 49 % of that of the medium-heavy forwarder (Table 7).

The productivity figures for logging systems based on forwarding in the investigation conditions are presented in Table 8. The human labour input was smallest in the logging system based on the use of a medium-heavy forwarder, but the difference compared with small-tractor logging systems was small. Of the small-tractor logging systems, the SCAPE method had a slightly smaller human labour requirement.

In the cost calculations, 90 - 110 marks was taken as the cost per gross effective time for a small tractor and 143 marks for a medium-heavy forwarder. In the investigation conditions, the direct logging costs of the system based on the medium-heavy forwarder were 1 - 4 marks/m<sup>3</sup> less than those of the small-tractor logging systems. As the conditions in stand 1 were exceptional, a logging system based on the SCAPE method appears to be a more economical small-tractor system as regards direct logging costs. As the results were contradictory, this conclusion must be treated with reserve.

The feller-buncher was studied with a strip road spacing of

15 m and the bunches were placed alongside the strip road diagonally to the driving direction. The machine generally reversed to the strip road on the tracks it made moving out. The increase in the number of trees but not the volume of the bunch slowed the driving-loaded time. The tree-grappling time did not depend significantly on the number of trees in the bunch nor on the size of the tree. An exception was trees that were at the upper limits (22 cm) of the felling device (Table 10).

The productivity of felling-bunching depends on the size of the growing stock (Fig.6). The output per gross effective time varied from 2.0 to 10.5 m<sup>3</sup>/h depending on the operator and the conditions. The hourly output per stem decreased when the number of trees in the bunch increased to 5 trees/bunch. It is thus worth taking about 5 small-sized trees per bunch. According to the literature (HAKKILA et al. 1977), it is cheaper to fell and bunch small-sized trees (mean stem size 0.03 m<sup>3</sup>) manually than with a feller-buncher.

The harvester was studied in the preparation of long length bolts and 3-m pulpwood alongside the strip road with a strip road spacing of 15 m. Output per gross effective time was 1.1 - 6.7 m<sup>3</sup>/h when the DBH of the stem was from 6 to 14 cm (Fig.8). There was no distinct difference between timber assortments. Driving empty and loaded consumed the most time although the driving speeds were high. Slightly lower productivity figures have been reported in earlier studies (MELKKO 1979, HAKKILA and WOJCIK 1980). In Melkko's study, preparation of timber in the cutting area by harvester and haulage by forwarder equipped with a long-reach loader were the most economic



harvesting system as regards costs. The harvester was competitive with the labour-intensive harvesting method at the 1979 price level if the costs per gross effective time did not exceed 90 - 110 marks.

The skidder was equipped with a hydraulic clam bunk and a grapple loader. It was studied in the skidding of whole trees and long length bolts. Output per gross effective time for whole trees was 2.1 to 5.0 m<sup>3</sup>/h, depending on the skidding distance (50 - 200 m) and the method of unloading. The corresponding output per gross effective time in the skidding of long length bolts was 3.5 - 6.8 m<sup>3</sup>/h. Productivity was distinctly lower than in forwarding, mainly because of the small load size. Higher productivity figures have been achieved in Poland but they, too, lag distinctly below those for forwarding (HAKKILA and WOJCIK 1980).

1.4 - 4.3 % of the residual growing stock was damaged in forwarding. There was root damage to 1.0 - 2.0 % and stem damage to 0.1 - 3.0 % of the trees. In the stand where the medium-heavy forwarder was the object of comparison, 3.6 - 4.0 % of the trees were damaged by the small tractor and 4.7 % by the medium-heavy forwarder (Table 15). The nature of the damage is presented in Tables 16 and 17. The small tractor made deeper ruts (8.7 - 12.8 cm) than the medium-heavy forwarder (7.6 cm). Although the results were obtained in the same stand, soil conditions may have differed slightly. The root damage percentages of earlier studies have been smaller in a pine stand, but stem damage and damage to spruce stands come within the range of variation reported in the literature (MIKKONEN and YLÄ-HEMMILÄ 1977, THESSLUND 1978, HAKKILA and WOJCIK 1980).

The extent to which feller-buncher operations break up the soil surface was studied in sandy uplands of VT and CT type during the summer. 74 - 86 % of the surface was intact. It was churned up to mineral soil in 8 - 16 % of the area (Table 19). The mean depth of the broken soil was 10.7 cm. According to LAITAKARI (1929), the mean depth of the superficial root system of pine varies from 5 to 11 cm in sandy soil and from 10 to 15 cm in glacial till soil rich in stones. 2.2 - 15.0 % of the trees suffered root damage and 2.2 % stem damage in felling--bunching. The corresponding damage rates after harvester operations were 11.4 - 17.8 % and 1.2 - 1.3 % (Table 21). The great amount of root damage is due partly to the fact that also very small broken roots were counted. The average area of stem damage was smaller after felling-bunching and harvesting than after forwarding. The percentage of stem damage increased with the density of the residual growing stock in accordance with the following regression equation:

$$y = 0.0059x - 1.38 \quad r^2 = 0.22$$

in which  $y$  = trees with stem damage %

$x$  = residual growing stock, trees/hectare

4.0 - 4.4 % of the residual growing stock suffered stem damage and 1.3 - 5.7 % root damage from skidding (Table 21). The incidence of damage from skidding was distinctly greater than from forwarding.

## Discussion

As with small-tractor studies in general, the present work was confined to favourable terrain conditions. However, as far as is known this was the first comparative work study of conventional forwarders in the same stand. The productivity of the small tractor in forwarding was 46 - 49 % that of the medium-heavy forwarder. The main reason for the difference was the smaller load size and longer loading and driving-loaded time of the small tractor. The last-mentioned difference is due partly to the different timber cutting method used with a small tractor.

On the other hand, the narrower strip road spacing required by the small tractor gives such a saving in cutting costs that the whole logging system for a small tractor, depending on the method used and the mode of calculation, is only some 1 - 4 marks/m<sup>3</sup> more expensive as regards direct logging costs than the system based on the use of a medium-heavy forwarder. The costs of moving from one work site to another and the organisational aspects of the use of the machines were not taken into consideration in the calculation.

The question of whether the wood-production advantages compensate for the higher harvesting costs is outside the scope of the present study. This would require first and foremost information on the effects of narrow strip roads (2.5 - 3.0 m) which are more closely spaced than the 4.0 - 4.5 m wide strip roads which are spaced at distances of about 30 m. According to the curves presented by BUCHT (1977), a 3 m wide strip road with a spacing of 20 m is only a little better for growth than a 4-m strip

road with a 30 m spacing. On the other hand, a strip road width of 3 m requires only a very small systematic removal of trees. Monetary quantification of damage to the growing stock is also difficult (this is discussed later).

In haulage with a small tractor it is possible to apply the SCAPE method with a narrow strip road spacing. However, apart from ergonomic advantages no significant cost savings are achieved according to the present material. Moreover the dense strip road network is probably less desirable from the wood production point of view. It is impossible to eliminate all ergonomic problems caused by carrying the bolts into bunches in the cutting phase as it is not possible to mount long-reach loaders on small tractors. On the other hand, the bolt size in early thinnings is smaller than in later thinnings. And the smaller strip road spacing is also an ergonomic advantage.

When a small tractor is used as a feller-buncher moving from tree to tree or as a harvester, its productivity makes it competitive with labour-intensive methods as regards the direct costs of the machine if the operating costs do not exceed 100 - 130 marks per gross effective time. The main negative feature of using machines that move from tree to tree is probably the risk of damage to the growing stock, especially to the root system, in Finnish sandy uplands of CT and VT type for which the machines are best suited as regards the ground roughness. It has been reported that Central-European soils and other soils in Scandinavia are better in this respect for the use of small-sized machines.

Because of the small load size, skidding is distinctly less

productive over the corresponding driving distance than forwarding. The unit costs are consequently also high.

When a small tractor is used for forwarding the risk of damage to the growing stock is small if the strip roads are sufficiently wide and straight and haulage, in a spruce stand, is performed when the soil is frozen. The smallest practical strip road width in a pine stand appears to be 2.5 - 3.0 m and in a spruce stand 3 m. Rut formation was surprisingly great in spite of the low surface pressure, obviously because of the grinding effect of the tracks. Therefore, in spruce stands at least, haulage should be timed for the period of frozen soil. The incidence of stem damage was higher in skidding than in forwarding. The risk of damage to the root system is especially great in driving from tree to tree, at least during the period of unfrozen soil and on sandy CT and VT forest types. The risk of stem damage increases with the density of the growing stock and when the operator's driving worsens.

Liite 1. Puutavaran teon työajan menekkiä kuvaavat regressioyhtälöt

App. 1. Regression equations describing expenditure of working time  $R^2$

Tekomies 1

Worker 1

$$y_1 = -29,59 - 7,65 X_1^{***} - 0,58 X_2^* + 0,25 X_3^* - 2,26 X_1 \cdot X_4^{***} \quad 0,51$$

$$y_2 = -184,47 + 36,50 X_1^{**} - 3,15 X_2^{***} - 5,67 X_3^{**} - 1,91 X_1 \cdot X_4^{***} \quad 0,78$$

Tekomies 2

Worker 2

$$y_1 = -19,50 + 5,99 X_1^{***} - 1,03 X_1 \cdot X_4^{***} \quad 0,58$$

$$y_2 = -127,94 + 29,36 X_1^{***} + 67,31 X_3^{***} - 10,72 X_1 \cdot X_3^{***} - 1,00 X_1 \cdot X_4^{***} \quad 0,78$$

$y_1$  = runkokohtainen tehotyöajan menekki kasauksessa, cmin/runko  
= expenditure of effective working time in burching, cmin/stem

$y_2$  = runkokohtainen tehotyöaika, kaikki työvaiheet, cmin/runko  
= expenditure of effective working time, all work phases together, cmin/stem

$X_1$  = rungon rinnankorkeusläpimitta, cm  
breast height diameter of the stem, cm

$X_2, X_3$  = puulaji, valemuuttuja, kuusi  $X_2=0, X_3=0$ , spruce  
tree species, dummy variable mänty  $X_2=1, X_3=0$ , pine  
koivu  $X_2=0, X_3=1$ , birch

$X_4$  = työmenetelmä, valemuuttuja, menetelmä 1  $X_4=0$ , method 1  
working method, dummy variable menetelmä 2  $X_4=1$ , method 2

Liite 2. Kuormajuonnon ajanmenekkiä kuvaavat regressiomallit  
 App. 2. Regression models describing time expenditure in forwarding

Työmaa 1

Work place 1

$$\ln y = 1,117 + 0,196 \ln X_1^{***} - 0,236 \ln X_2^{***} + 0,215 X_4^{***} \quad R^2 = 0,84$$

Työmaa 2

Work place 2

$$\ln y = -0,429 + 0,515 \ln X_1^{***} - 0,147 \ln X_2^{***} - 0,140 X_3^{***} + 0,023 X_4 - 0,640 X_5 \quad 0,83$$

$y =$  ajanmenekki, min/m<sup>3</sup> (käyttöaika)  
 time expenditure, min/m<sup>3</sup> ( )

$X_1 =$  juontomatka, m  
 forwarding distance, m

$X_2 =$  tavaralajitiheys, m<sup>3</sup>/100 m  
 assortment density, m<sup>3</sup>/100 m

$X_3 =$  puulaji, valemuuttuja kuusi ja mänty  $X_3 = 1$ , spruce  
 tree species, dummy variable koivu  $X_3 = 0$ , pine and birch

$X_4, X_5 =$  työmenetelmä, valemuuttuja menetelmä 1  $X_4 = 1, X_5 = 0$   
 menetelmä 2  $X_4 = 0, X_5 = 0$   
 menetelmä 3  $X_4 = 0, X_5 = 1$

work method, dummy variable method 1  $X_4 = 1, X_5 = 0$   
 method 2  $X_4 = 0, X_5 = 0$   
 method 3  $X_4 = 0, X_5 = 1$





