

# FOLIA FORESTALIA<sup>240</sup>

METSÄNTUTKIMUSLAITOS • INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE • HELSINKI 1975

---

---

PENTTI HAKKILA, HANNU KALAJA  
JA MARKKU MÄKELÄ

---

KOKOPUUNKÄYTTÖ PIENPUUONGELMAN  
RATKAISUNA

---

FULL-TREE UTILIZATION AS A SOLUTION  
TO THE PROBLEM OF SMALL-SIZED TREES

---

- No 173 Matti Palo & Esko Fälä: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1970 (1964, 1967).  
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1970 (1964, 1967), by districts. 5,—
- No 174 Jorma Riikonen: Kuitupuun kuoren kutistuminen metsävarastoinnissa.  
The volumetric shrinkage of pulpwood bark. 1,50
- No 175 Lauri Heikinheimo, Matti Heikinheimo & Aarne Reunala: Earnings of forest workers in Scandinavia, especially in Finland.  
Metsätyömiesten ansiot Suomessa ja muissa pohjoismaissa. 8,—
- No 176 Matti Palo & Mikko Tervo: Hakkuumäärien lyhytjaksoinen ennustaminen.  
Short-term forecasting of cut in Finland. 5,—
- No 177 Olavi Huuri: Taimitarhanoston suoritustavan vaikutus kuusen ja männyn taimien alkukehitykseen.  
The effect of nursery lifting methods on initial development of spruce and pine transplants.
- No 178 Matti Leikola & Jyrki Raulo: Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten III. Taimien morfologisten tunnusten muuttuminen kasvukauden aikana.  
Investigations on the basis for grading nursery stock III. Changes in morphological characteristics of nursery stock during the vegetation period. 2,—
- No 179 Paavo Valonen & Matti Ahonen: Vajaakarsinta ja silmävarainen apteeraus kuusisaha-puun teossa.  
The partial limbing and ocular marking for crosscutting in the preparation of spruce sawlogs. 4,—
- No 180 Pentti Rikonen: Havusahatukkien latvamuotoluvut erilaisia läpimittaluokituksia käy-tettäessä. 1,—
- No 181 Veijo Heiskanen: Havusahatukkien kapeneminen ja latvamuotoluku Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla.  
Taper and top form factor of coniferous sawlogs in Kainuu and North Ostrobothnia regions. 2,—
- No 182 Veijo Heiskanen & Jorma Riikonen: Kuitupuun kehysmitta ja pinotiheys autokulje-tuksen eri vaiheissa.  
Piled measure and solid volume content of pulpwood piles in various phases of truck transportation. 2,50.
- No 183 Heikki Nikkilä: Kylkiitiheysmenetelmä kuitupuupinon kiintomitan määrittämisessä.  
The pile face density method in measuring the solid volume of a pulpwood pile. 4,—
- No 184 Olavi Saikku: Lannoituksen vaikutuksesta männyn kuoren määrään kangasmaalla.  
The effect of fertilization on the amount of the bark of Scotch pine in forest land. 1,50
- No 185 Kaj Asplund, Erkki Lähde & Erkki Numminen: Vajaasti kypsyneen männyn siemenen kehitys käpyjen varastoinnin aikana.  
On the development of incompletely ripened seeds of Scots pine in cones under storage. 1,50.
- No 186 Esko Jaatinen: Recreational utilization of Helsinki's forests. 4,—
- No 187 Markku Mäkelä: Kanto- ja liekopuun korjuu polttoturvesoilta.  
Harvesting of stump and moor wood from fuel peat bogs. 2,—
- 1974 No 188 Pirkko Velling: Männyn (*Pinus silvestris* L.) puuaineen tiheyden fenotyypisistä ja geneettisestä vaihtelusta.  
Phenotypic and genetic variation in the wood basic density of Scots pine (*Pinus sil-vestris* L.) 3,—
- No 189 Risto Seppälä: Yksityismetsänomistajien hakkuukäyttäytyminen Suomen itäosissa.  
Cutting behaviour of private forest owners in eastern Finland. 4,—
- No 190 Risto Seppälä: Raakapuun tarjonnasta Suomessa.  
On the supply of roundwood in Finland. 4,—
- No 191 Kullervo Kuusela & Alli Salovaara: Ahvenanmaan maakunnan, Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon ja Etelä-Karjalan piirimetsälautakunnan metsävarat vuosina 1971—72.  
Forest resources in the District of Ahvenanmaa, and the Forestry Board Districts of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pirkka-Häme, Itä-Häme, Etelä-Savo and Etelä-Karjala in 1971—72. 7,—
- No 192 Paavo Tiihonen: Puutavaralajirakenteen likimääräisarvioinnissa käytettäviä menetelmiä.  
Methoden für die annähernde Schätzung des Holzsortenstruktur.
- No 193 Terho Huttunen: Suomen sahateollisuus vuonna 1972.  
The sawmill industry in Finland in 1972. 4,—
- No 194 Ukko Rummukainen: Herbisidiraikeden männyn- ja kuusentaimille aiheuttamista kuori-vioituksista.  
On bark damages caused to Scots pine and Norway spruce plantations by granular herbicides. 2,—
- No 195 Metsätilastollinen vuosikirja 1972.  
Yearbook of forest statistics 1972. 12,—
- No 196 Erkki Lähde: The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of Pine (*Pinus silvestris* L.) seed.  
Kylvösuojan ja kylmästratifioidinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. 2,—

Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä

## KOKOPUUNKÄYTTÖ PIENPUUONGELMAN RATKAISUNA

Full-tree utilization as a solution to the  
problem of small-sized trees

## ALKUSANAT

Jo usean vuoden ajan on Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosasto johdannut yhteispohjoismaista tutkimusprojektia, jonka tavoitteena on saada teollisuudelle lisäraaka-ainetta hakkuutähteiksi jäävistä puun osista. Työn edistyessä ja perustietojen karttuessa on käynyt yhä ilmeisemmäksi, että varsinaisten hakkuutähteitten talteenoton rinnalla saattaa myös n.s. kokopuunkäyttö jo lähitulevaisuudessa johtaa metsä- ja kansantaloutemme kannalta merkittäviin tuloksiin.

Koska kokopuunkäyttö samanaikaisesti tuottaa teollisuudelle lisää puuraaka-ainetta, kohottaa työn tuottavuutta pienpuustoa korjattaessa sekä alentaa kustannustasoa, on Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston pyrkimyksenä ollut käynnistää kokopuunkäyttöön tähtäävä kokonaisvaltainen kehitys- ja tutkimusohjelma. Suunnitelmien toteuttaminen mahdollistui, kun Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, SITRA, heinäkuussa 1973 pani alulle Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin, jonka ensimmäiseksi välitavoitteeksi asetettiin markkinakelvottoman pienikokoisen puun muodostaman raaka-ainereservin hyödyntäminen. Kehitystyöhön lähdettiin päämääränä kokopuunkäyttö.

Käsillä oleva julkaisu on väliraportti projektin puitteissa vuosina 1973 ja 1974 tehdystä kokopuunkäyttöön tähtäävästä kehitys- ja tut-

kimustyöstä. Ohjelma, jonka on suunniteltu jatkuvan vuoden 1977 loppuun saakka, toteutetaan Metsäntutkimuslaitoksen johdolla yhteistyössä lukuisten yhtiöitten ja tutkimuslaitosten kanssa. Projektin kulkua ohjaa SITRAn asettama valvova toimikunta, jonka puheenjohtajana toimii professori KULLERVO KUUSELA Metsäntutkimuslaitoksesta. SITRAn puolesta ovat työhön kiinteästi osallistuneet mh. MARTTI ISSAKAINEN ja alkuvaiheessa myös dipl.ins. SAKARI KARSILA sekä dipl.ins. BERNDT KARSTEN.

Projektin eri vaiheissa mukana olleista on tässä mahdollista mainita vain osa: Urakoitsija PERTTI SZEPIANIAK kokopuuhakkurin kehittäjänä; dipl.ins. ESKO HAAPALA, kuljetuspäällikkö ARHO HAAVISTO, mt. RAIMO ILLI, mh. ILKKA LAPPALAINEN, mh. PERTTI LIPSANEN ja metsäpäällikkö ANTTI SAVELA Pellos Oy; ins. KALERVO MALINEN Oy Ekströmin Koneliike; fil.maist. KEIJO KIMINKI, korjuuesimies UUNO KIRISAARI, mh. STUART KÖHLER, mh. MARTIN LILLANDT, dipl.ins. ESKO MATTELMÄKI ja mt. KAUKO PAPUNEN Oy W. Rosenlew Ab; dipl.ins. RISTO HIRN Oy W. Rosenlew Ab, Porin Voima; dipl.ins. MARKKU LEMMILÄ, metsäpäällikkö PEKKA PÄIVÄRINTA ja mh. JUHANI TENHOLA Heinolan Faneritehdas Zachariassen & Co; mh. VEIKKO KOSKELA,

mt. KAUKO PAJUNEN ja mh. MATTI PONSI Puulaaki Oy; metsäpäällikkö SIMO VARTIO TIWI Oy; mh. MARKKU HOVI, metsäpäällikkö LEO KARVONEN ja mh. KAUKO PARVIAINEN Veitsiluoto Osakeyhtiö; mh. JUHANI MUTRU ja mh. HEIKKI OLKINUORA Työväline Oy; mh. AARNE ELOVAINIO Metsäteho; dipl.ins. BRUNO LÖNNBERG ja fil.maist. ILPO PALENIUS Oy Keskuslaboratorio Ab; mh. AARO KARJALAINEN ja rakennusmestari TAPIO SAARENKETO Vesihalitus sekä dipl.ins. MATTI ALA-FOSSI, dipl.ins. MATTI MÄKELÄINEN ja toimitusjohtaja VILHO RAUTALAHTI Savon Sellu Oy.

Puhtaaksikirjoituksen on tehnyt neiti RAIJA SIEKKINEN. Piirros n:o 5 on kuvaamataidonopettaja PIRKKO HAKKILAN, piirros n:o 27 metsät.yo. PAAVO SIMOLAN ja muut piirrokset rouva LEENA MURONRANNAN käsialaa. Aineiston keruuseen ja käsittelyyn ovat Metsän-

tutkimuslaitoksessa osallistuneet m.m. metsätekniikko PERTTI LAAKSO, mh. EERO LEHTONEN, metsäharjoittelija TAPIO NEVALAINEN ja kenttäestari SAULI TAKALO.

Kiitämme kaikkia työssä mukana olleita. Haluamme korostaa sitä ratkaisevaa panosta, joka ohjelman toteuttamisessa on ollut SITRALLA projektin rahoittajana sekä professori KULLERVO KUUSELALLA valvovan toimikunnan puheenjohtajana. Kehitystyön nopeasta liikkeelle lähdöstä metsäteollisuudessa sekä siinä yhteydessä avautuneista tutkimusmahdollisuuksista lankeaa erityinen kiitos mh. MARTIN LILLANDTille ja metsäpäällikkö ANTTI SAVELALLE.

Allekirjoittaneista ovat HANNU KALAJA ja MARKKU MÄKELÄ vastanneet lähinnä kenttätöistä. Käsikirjoitus on pääosiltaan PENTTI HAKKILAN laatima.

Helsingissä huhtikuussa 1975

Pentti Hakkila Hannu Kalaja Markku Mäkelä

## SISÄLLYSLUETTELO

|  | Sivu |
|--|------|
| TIIVISTELMÄ .....  | 4    |
| SUMMARY IN ENGLISH .....                                     | 5    |
| 1. JOHDANTO .....  | 9    |
| 2. PIENIKOKOISEN PUUSTON KORJUUN ONGELMAT .....              | 10   |
| 3. KOKOPUUHAKETUKSEN EDUT JA HAITAT PIENPUUN KORJUUSSA ..... | 13   |
| 3.1. Kokopuuhaketus metsänomistajan kannalta .....           | 13   |
| 3.2. Kokopuuhaketus metsäyöntekijän kannalta .....           | 14   |
| 3.3. Kokopuuhaketus puun käyttäjän kannalta .....            | 15   |
| 4. PIENIKOKOISEN PUUSTON MAANPÄÄLLINEN BIOMASSA .....        | 15   |
| 4.1. Tuorepaino .....  | 18   |
| 4.2. Koostumus .....   | 19   |
| 5. KOKOPUUNKÄYTÖN KOHTEEKSI SOVELTUVA PUUSTO .....           | 21   |
| 5.1. Metsikkökohteet .....                                   | 21   |
| 5.2. Maantieteellinen sovellutusalue .....                   | 24   |
| 6. KOKOPUUHAKETUKSEN KORJUUKETJUVAIHTOEHTOJA .....           | 26   |
| 6.1. Palstahaketus .....                                     | 26   |
| 6.2. Välivarastohaketus .....                                | 28   |
| 6.3. Haketus tehdasvarastolla .....                          | 28   |
| 6.4. Leikkuupuimuriketju .....                               | 29   |
| 7. KOKOPUUHAKKURIT .....                                     | 29   |
| 8. TULOKSIA KORJUUKOKEISTA .....                             | 31   |
| 8.1. Harmaalepikön avohakkuu .....                           | 33   |
| 8.2. Suomännikön avohakkuu .....                             | 38   |
| 8.3. Suokoivikon avohakkuu .....                             | 41   |
| 8.4. Pellonpiennarpensaikon avohakkuu .....                  | 44   |
| 8.5. Männikön ensiharvennus .....                            | 45   |
| 8.6. Kaukokuljetus .....                                     | 48   |
| 8.6.1. Kokonaisten puitten autokuljetus .....                | 48   |
| 8.6.2. Hakkeen autokuljetus .....                            | 49   |
| 9. LEHTIEN JA NEULASTEN ONGELMA .....                        | 52   |
| 9.1. Viheraineen osuus kokopuuraaka-aineessa .....           | 52   |
| 9.2. Lehtien ja neulasten aiheuttamat vaikeudet .....        | 54   |
| 9.3. Rasimenetelmän käyttömahdollisuudet .....               | 56   |
| 9.4. Viheraineen erottaminen hakkeesta .....                 | 58   |
| 10. TULOKSIA KÄYTTÖKOKEISTA .....                            | 61   |
| 10.1. Kokopuuhake polttoaineena .....                        | 61   |
| 10.2. Kokopuuhake kuitulevyjen raaka-aineena .....           | 63   |
| 10.3. Kokopuuhake lastulevyjen raaka-aineena .....           | 66   |
| 10.4. Kokopuuhake massan raaka-aineena .....                 | 68   |
| 10.5. Kokopuuhake furfuraalin raaka-aineena .....            | 70   |
| 11. KOKOPUUNKÄYTÖN KEHITYSNÄKYMÄT .....                      | 71   |
| KIRJALLISUUTTA .....   | 74   |

## TIIVISTELMÄ

Käsillä oleva julkaisu on väliraportti SITRA:n Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin puitteissa vuosina 1973 ja 1974 tehdystä kokopuunkäyttöön tähtäävästä tutkimus- ja kehitystyöstä. Ohjelmaa, jonka on suunniteltu jatkuvan vuoden 1977 loppuun saakka, toteutetaan Metsäntutkimuslaitoksen johdolla yhteistyössä lukuisten yhtiöitten ja tutkimuslaitosten kanssa.

Julkaisussa tarkastellaan ensimmäiseksi pienpuun korjuun yleisiä ongelmia ja kokopuunkäyttöä niitten ratkaisuvaihtoehtona. Kokopuuhaketuksen etuja ja haittoja selvitetään erikseen metsänomistajan, metsäyöntekijän sekä puun käyttäjän kannalta.

Raaka-ainepohjan selvittämiseksi luodaan katsaus leimikkotyyppeihin, jotka Suomen oloissa näyttäisivät soveltuvan kokopuuhaketustyytämaiksi. Lisäksi esitetään tietoja pieni-

kokoisen puuston maanpäällisen osan biomassan koostumuksesta.

Korjuukysymyksiä selostetaan vuoden 1974 kokeitten valossa. Niitä on pidettävä luonteeltaan kuitenkin lähinnä vain pelin avauksena. Jo vuoden 1975 aikana tulee käyttöön uusia koneita ja menetelmiä. Kehitystä tullaan edelleen seuraamaan Folia Forestalia-sarjan puitteissa.

Kokopuuhakkeen käytön osalta kiinnitetään erityistä huomiota lehtien ja neulasten ongelmaan. Tuloksia eri tahoilla tehdyistä laboratorio- ja tehdaskokeista selostetaan seuraavien käyttökohteitten osalta: poltto, kuitulevyteollisuus, lastulevyteollisuus, massateollisuus ja furfuraali. Lopuksi tarkastellaan kokopuunkäytön kehitysnäkymiä.

# FULL-TREE UTILIZATION AS A SOLUTION TO THE PROBLEM OF SMALL-SIZED TREES

## SUMMARY

### 1. Introduction

A joint Nordic research project was commenced in 1969 under the direction of the Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, with the object of procuring additional raw material for industry from unmerchantable tops, branches, stumps and roots. However, it gradually became evident that parallel with the harvesting and utilization of logging residues the research work should take in full-tree utilization. It was believed that in addition to intensifying the harvesting of wood full-tree utilization offers other advantages of which the most important are the lowering of logging costs and increasing the productivity of human labour.

A possibility of implementing the programme came in summer 1973 when the Finnish National Fund for Research and Development (SITRA), initiated a project on the production and utilization of short-rotation wood. The first target is the development of harvesting and utilization methods for currently unmerchantable small-sized trees and bushes on the basis of full-tree utilization. If this proves successful, the project will be widened later to cover the production of short-rotation wood.

The project will end in 1977. This report includes the main results for 1974. They provide a picture of the possibilities available in Finnish conditions for full-tree harvesting and utilization. The work is only in its infancy, but will gather speed once practical activity is started.

### 2. The problem of harvesting small-sized trees

The examples given in Figs. 1 and 2 show the strict dependence of costs on tree size in the manual logging of pulpwood. Multi-purpose logging machines have not provided a solution to the problem as their costs, too, rise sharply

when the tree size diminishes (Fig. 3). The problem of mechanisation is thus still unsolved just where a solution is most sorely needed.

Harvesting of small-sized trees is burdened also by the large amount of logging residues. The regional differences in the proportion of wasted stem wood are due above all to the variation in the size of growing stock (Fig. 4).

If a small-sized growing stock is harvested in the traditional manner by the short-wood method over a half of the logging wages is paid for delimiting and bucking. As these work phases result in a heavy reduction of the biomass recovered, the elimination of delimiting and the complete utilization of small-sized trees must be the target. The most realistic method is based on full-tree chipping.

### 3. The advantages and disadvantages of full-tree chipping

If full-tree chipping solves the problem of the harvesting of small-sized timber in forests of the type in the examples described in this report, important gains will be achieved. They all have a multiplier effect on the Finnish economy. Some of the direct effects are:

- A great proportion of the biomass of small-sized trees is unutilised at present. Full-tree chipping yields several tens of per cent more raw material. Some stands can not be harvested at all without the chipping method.
- Full-tree logging increases the productivity of human labour materially. This will be very important in the future as a shortage of forest labour is anticipated in Finland.
- Logging costs are reduced by full-tree chipping. However, this does not mean necessarily that the forest industry will gain from full-tree chips raw material which is especially cheap compared with other timber.
- Softwood logging residues and unbarked

timber stocks provide a haven of propagation for injurious insects which damage growing trees. No such damage occurs with full-tree chipping.

- Strengthening demand for small-sized timber will further the improvement of unproductive forests. The great silvicultural problem of the future, viz. the harvesting of early thinnings, may also be facilitated.
  - Removal of logging residues from the forest is often beneficial. Examples are the clearing of areas for field, for residential building, for man-made lakes or fuel peat production, and recreational forests.
- Full-tree chipping has its negative aspects, too, which cannot be ignored in the total view:
- The heterogeneous composition of full-tree chips is a negative feature for the processing technique. New processing technology and product development will be required.
  - The bark, foliage and buds of full-tree chips accelerate the spoiling of wood. Storage time must be short.
  - Full-tree chipping calls for very careful planning and an effective harvesting organisation.
  - Complete-tree utilization increases the nutrient loss of forest soil. Fertilization may prove imperative in certain cases to prevent the soil from becoming impoverished.

#### 4. Above-ground biomass of small-sized trees

The dry-matter composition of small-sized trees is still inadequately known. Figs. 6–11 present type examples of the distribution of the green weight of wood between the stem and branches. The figures are based on the equations on p. 18. Green weights can be converted into dry weights by using the following mean coefficients: white birch without leaves 0.57, grey alder without leaves 0.48, Scots pine from early thinnings 0.45 and Norway spruce from early thinnings 0.45. The composition of the biomass of full-tree raw material is given in Table 1.

#### 5. The objects of full-tree harvesting

Figs. 12–17 show typical stands in which full-tree utilization enters into question in Finnish conditions. The advantages are greatest for the following:

- Unproductive hardwood forests like grey alder in eastern Finland, white birch swamps in western Finland, the narrow puckerbrush zone on the western coast, low-quality birch in northern Finland and the unproductive bush forests on abandoned farm land.
  - The early thinnings of Scots pine and Norway spruce plantations, a rising problem of 1980s and 1990s. Figs. 18 and 19 show the development of the structure of cuttings in central Finland.
  - The unmerchantable trees presently left unutilized in silvicultural treatment of young softwood plantations before commercial thinnings.
  - Small-sized pulpwood trees and the tops of large saw timber trees of clear-cutting areas.
  - The short-rotation plantations of the future.
- Full-tree harvesting will be limited in the initial phase to the immediate environment of the mills. The radius can probably be increased fast, however. Fig. 20 shows the area covered by the most important branches of industry for a logging radius of 50 and 100 km at each mill.

#### 6. Alternatives for logging schedules

Logging schedules for full-tree chipping are built round the chipper. The following alternatives exist, depending on the timing of the chipping phase: chipping in the terrain (Fig. 21), chipping at the upper landing (Fig. 22) and chipping at the central landing or mill yard. The fourth alternative is a method based on a harvester-type multi-purpose machine (Fig. 23) for the clear-cutting of small-sized bush forests.

The generalisation of full-tree chipping requires the development of machines suitable for Finnish conditions. A broad selection of machines for clear-cuttings and thinnings on mineral soil and peatlands is needed. Suffice it to mention here only the following machine requirements for trees 2–15 cm DBH:

- Special tools for manual felling and bunching of small-sized full trees.
- Feller-bunchers for small-sized trees in thinning operations.
- Continuous operation feller-bunchers for clear-cutting of bush forests.
- Bush harvesters.
- Skidders, forwarders, winches, long-radius



booms or other equipment for forest transport of small-sized full trees.

- Full-tree chippers.
- Containers, sacks and nets for transport of chips in the forest.
- Long-distance transport equipment for forest chips and full trees.

## 7. Full-tree chippers

Chapter 7 contains information on full-tree chippers on the market in 1974. In addition, it describes the Finnish PH-1 prototype chipper which was used in the experiments of this report.

The PH-1 can be used both in the terrain and at upper landing. In these experiments it was drawn by a Fiat 750 farm tractor. The full trees are fed by a Wärtsilä 3000 loader from the right side of the machine into the feeding device which consists of a conveyor chain and a forced-feed roll. The chipper has a 13 m<sup>3</sup> chip bin which is emptied by tipping onto e.g. an interchangeable rack (Figs. 24–26). When the test series was completed, another prototype, PH-2, was constructed.

## 8. Results of the logging experiments

The parallel goals of the harvesting experiment programme of summer 1974 were the

development of machines and methods, study of the quantity and quality of the additional raw material to be procured, and delivery of full-tree chips for utilization experiments. This chapter describes sample cases of the past experimental phase during which harvesting system alternatives applicable to different conditions gradually began to take shape. However, only practical work will finally show the most serviceable solutions.

It must be remembered when assessing output and productivity for chipping that a prototype machine was used. A new, more effective full-tree chipper has already been developed on the basis of the experience gained at the experimental work sites. Moreover, the growing stock in question comprised very small trees.

The report describes the results achieved at five experimental work sites. Information on the time consumption of the PH-1 chipper prototype and the productivity of human labour is given in Tables 2–11. Figs. 27–33 show different phases of the harvesting experiments. Some main results are collected in the table.

Full-tree raw material is transported over long distances either as full trees or as chips. The former alternative, which is combined with chipping at the central landing or mill yard, has been studied in Norway and Denmark. Finland has confined itself so far to transport in chip form (Figs. 34–37). Table 12 gives examples of the weight of full-tree chips in a

|                              | Clear-<br>cutting<br>of alder | Clear-<br>cutting<br>of pine<br>swamp | Clear-<br>cutting<br>of birch | Clear-<br>cutting<br>of bushes | Early<br>thinning<br>of pine |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Tree volume, litres *        | 6                             | 39                                    | 28                            | 2                              | 34                           |
| Man-days/chip m <sup>3</sup> | 0.04                          | 0.10                                  | 0.10                          | 0.08                           | 0.03                         |
| Man-days/dry ton             | 0.30                          | 0.62                                  | 0.57                          | 0.53                           | 0.21                         |
| Pulpwood, dry tons/ha **     | 2.7                           | 6.2                                   | 5.9                           | 0.0                            | 20.8                         |
| Full-tree chips, dry/tons/ha | 13.5                          | 13.2                                  | 17.0                          | 13.4                           | 38.4                         |

\*- Volume of full tree, including branches.

\*\*- Yield of 2-m pulpwood in the short-wood method.

Top diameter 6 cm for softwood and 7 cm for hardwood.

truck load and the settling of chip loads during transportation. The weights of some timber assortments per cubic metre of load space are compared in Table 13.

## 9. The problem of leaves and needles

In this chapter the problem of leaves and needles in the utilization of full-tree raw material is examined. Figs. 38 and 39 and Table 14 show the proportion of needles in Scots pine and Norway spruce. Some of the problems caused by the foliage in full-tree utilization are discussed in brief:

- Nutrient loss to forest soil
- Fast decay of full-tree chips during storage
- Increased cost of long-distance transport
- Problems of screening
- Lower yield from pulping
- Difficulties in the pulping process; lower digester yield, increased chemical consumption, slower drainage, clogging of screens, etc.
- Lower quality of pulp
- Difficulties in gluing particle boards, and lower strength properties of the boards

A possibility for the removal of foliage is the leaf-seasoning method. This is a logging system in which the trees are left after felling to lie on the ground without delimiting. The aim is to exploit the evaporation capacity of the living crown. The results of the leaf-seasoning experiments are reviewed in 9.3. Table 15 shows the changes in the moisture content of small-sized trees during a two-month leaf-seasoning period in the rainy summer of 1974.

Various methods of segregating the foliage from full-tree chips are reported in 9.4 (Fig. 41).

## 10. Results of utilization experiments

This chapter reviews the results of laboratory and utilization studies (performed in different places) on full-tree chips in the following industrial branches.

- Fuel
- Fibre boards
- Particle boards
- Pulp
- Furfural

The utilization of full-tree chips is technically and also economically fully feasible in all these branches. However, differences between mills are great, depending on the end product, the production process and equipment.

## 11. Development prospects of full-tree utilization

Full-tree utilization will mean an easing of the problems involved in the logging and utilization of small-sized timber. It may thus, when successful, prove to be the most significant development of our decade in the harvesting and utilization of timber.

Full-tree utilization began in the USA. The number of full-tree chippers in North America was 60 at the end of 1972, 140 at the end of 1973 and over 300 at the end of 1974. This equipment satisfies perhaps 2 per cent of the raw material requirement of the USA pulp and fibre board industry. It is predicted that the proportion will rise to 10 per cent by 1985. The enquiry addressed to Finnish industry revealed that the forest industry is ready to utilize 10 million m<sup>3</sup> of full-tree chips at the end of the 1970s if harvesting is technically and economically feasible.

An obstacle to an immediate start with full-tree utilization is the lack of harvesting equipment. American machines are often too large for Finland, and machines designed for Finnish conditions for all phases of the harvesting schedule are not yet available.

Targets requiring further development are harvesting machines for felling, bunching, forest haulage, the chipping phase and transport equipment for chips and full trees. Felling and bunching work in particular is becoming a bottleneck for the system. Performed manually, these phases of work are ergonomically strenuous and the productivity of human labour is not satisfactory (Figs. 43 and 44).

The special characteristics of full-tree chips should be taken into consideration at the mill end in the development of conveyors, chip sorting apparatus, mill yards and, on the other hand, in process and product development. For instance, sorting of full-tree chips into cooking chips, fuel and technical foliage for the chemical, biochemical or fodder industry constitutes a challenge.

## 1. JOHDANTO

Metsäteollisuutemme etsii uutta raaka-ainetta hakkuutähteistä, joihin kätkeytyvä potentiaalinen puureservi on kaikesta kehityksestä huolimatta yhä edelleen suuri. Vuotuisen hakkuumäärämme jakaantuminen käyttöpuun ja tähteitten kesken nähdään seuraavasta asetelmasta (HAKKILA 1974b).

|                                   | Milj. kuiva-<br>tonnia/v | %   |
|-----------------------------------|--------------------------|-----|
| Metsästä korjattava raaka-aine    |                          |     |
| Runkopuu                          | 18                       | 53  |
| Rungon kuori                      | 2                        | 6   |
| Metsään jäävät tähteet            |                          |     |
| Runkohukkapuu kuorineen           | 2                        | 6   |
| Oksat kuorineen ja viheraineineen | 8                        | 23  |
| Kannot ja juuret kuorineen        | 4                        | 12  |
| Yhteensä                          | 34                       | 100 |

Oksien, kantojen ja juurien muodostamaan raaka-ainereserviin alettiin kiinnittää todella vakavaa huomiota 1960-luvun jälkipuoliskolla. Hakkuutähteitten hyväksikäytön esteenä olivat tuolloin ensisijaisesti seuraavat tekijät:

- Hakkuutähteitä ja puun koko biomassassa koskevat perustiedot puuttuivat.
- Korjuumenetelmät oli kehitetty yksinomaan runkopuun talteenottoon tähdäten.
- Massa- ja levyteollisuus oli pääosiltaan suunniteltu ja mitoitettu käyttämään kuoretonta puuta.
- Teollisuuden asennoituminen raaka-aineen laatuvaatimusten lieventämiseen oli puupulatilanteessakin kielteinen.

Hakkuutähdetutkimukset käynnistyivät laajassa mittakaavassa vuonna 1969, kun Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston johdolla pantiin alulle NSR:n (Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd) alainen yhteispuhjoismainen projekti tavoitteena saada teollisuudelle lisäraaka-ainetta oksista, latvuksista, kannoista ja juurista. Myönteisiä tuloksia tähteitten teollisista käyttömahdollisuuksista saatiin m.m. Oy Keskuslaboratorion, Teknillisen korkeakoulun, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen sekä Åbo Akademin tutkimuksissa. Tulosten rohkaisemana käynnisti Suomen Metsäteollisuuden

Keskusliitto ensin kanto- ja juuripuuhun kohdistuneen kehitysohjelman ja vuonna 1974 oksaraaka-aineprojektin.

Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosasto oli alusta alkaen aktiivisesti mukana kaikissa mainituissa projekteissa. Tietojen ja kokemusten karttuessa vakuuttauduttiin vähitellen siitä, että hakkuutähteitten korjuuta ja hyväksikäyttöä tutkittaessa on muitten vaihtoehtojen rinnalla otettava kehitystyön kohteeksi myös n.s. kokopuunkäyttö<sup>x</sup>. Puun talteenoton tehostumisen lisäksi sen näet uskottiin tarjoavan myös muita merkittäviä etuja, joista tärkeimmät ovat korjuukustannusten alentuminen sekä ihmistyön tuottavuuden kohoaminen. Tähän tähdäten oli Metsäntutkimuslaitoksessa tutkittu Harvennushakkuitten koneellistamistoimikunnan ohjelman eräänä osana kokopuuhaketuksen käyttömahdollisuuksia harvennuspun korjuussa jo vuosina 1968–1972 (ALA-HEIKKILÄ 1968 ja 1969, RUOSTE 1972, Harvennuspun korjuun koneellistamistoimikunta 1972).

Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, SITRA, päätti kesällä 1973 käynnistää Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin. Sen erääksi tavoitteeksi asetettiin kehittää korjuumenetelmiä ja teollista käyttöä jo olemassa oleville vesakoille ja muulle pienikokoiselle puustolle. SITRAn näin alulle panema suurprojekti avasi vihdoin mahdollisuuden kokopuunkäyttöön tähtäävän kokonaisvaltaisen ke-

<sup>x</sup>Laajassa merkityksessä kokopuukäsite (complete-tree concept) sisältää puun kaiken kuiva-aineen juurakokoin mukaan luettuna. Täten määriteltynä kokopuunkäyttö eli puun täydellinen hyväksikäyttö (complete-tree utilization) kohdistuu siis rungon ja oksien lisäksi myös kantaan ja juuriin.

Kun tuoreen kanto- ja juuripuun teollinen käyttö ei ole kuitenkaan Joutseno Pulp Osakeyhtiötä lukuunottamatta vielä edennyt tutkimusvaihetta pidemmälle, sovelletaan kokopuu-termiä yleisesti niin, että se itse asiassa sisältää vain kantoleikkauksen yläpuolelle jäävän osan puusta. Tässäkin julkaisussa rajoittuu kokopuunkäyttö (whole-tree utilization, full-tree utilization) suppeampana puun maanpäälliseen osaan eli kantoleikkauksen yläpuolelle jäävän rungon ja oksien puuaineeseen, kuoreen ja lehtiin.

hitys- ja tutkimusohjelman toteuttamiseksi. Energiakriisi ja siihen liittyvä yleismaailmallinen raaka-ainepula osoittivat vain muutamaa kuu-kautta myöhemmin, että työ oli käynnistetty oikeaan aikaan.

Kesällä 1973 Suomen teollisuus ei ollut vielä maksanut kokopuunkäyttöajatus. Koska ohjelman ydinosan, korjuu- ja tehdaskokeitten toteuttaminen kuitenkin edellytti metsä- ja metalliteollisuuden osallistumista, tuli lähes ensimmäiseksi tehtäväksi teollisuuden mielenkiinnon herättäminen. Näissä merkeissä järjestettiin keväällä 1974 tiedotusisku, jonka ansiota osaksi lienee, että metsäteollisuuden piirissä virisi välittömästi aktiivinen kokopuunkäyttöön tähtäävä kokeilutoiminta.

Tälle pohjalle rakentui vuoden 1974 monitahoinen tutkimus- ja kehitystyö. Korjuu- ja tehdaskoeohjelmaan sisältyivät aikajärjestyksessä seuraavat kokeet.

| Yhtiö             | Puusto        | Kokeen tarkoitus                                   |
|-------------------|---------------|--|
| Pellos Oy         | Harmaalepikkö | Korjuu avohakkuu-oloissa                           |
| Oy W. Rosenlew Ab | Rämemännikkö  | Korjuu avohakkuu-oloissa, käyttökoe polttohakkeena |

|   |                                     |  |
|---|-------------------------------------|--|
| Oy W. Rosenlew Ab                           | Hieskoivikko                        | Korjuu avohakkuu-oloissa, käyttökoe furfuraalitehtaalla            |
| Heinolan Faneritehdas Zachariassen & Co     | Pellonpiennarvesakko y.m.           | Korjuu avohakkuu-oloissa, käyttökoe kuitulevytehtaalla             |
| Puulaaki Oy ja Tiwi Oy                      | Ensiharvennuskö                     | Korjuu harvennushakkuu-oloissa, käyttökoe lastulevytehtaalla       |
| Savon Sellu Oy ja Metsäliiton Teollisuus Oy | Harmaalepikkö                       | Käyttökoe aallotuskartonkitehtaalla                                |
| Veitsiluoto Osakeyhtiö                      | Pohjoisen allasalueen raivauspuusto | Käyttökoe sulfaattimassatehtaalla                                  |
| Oy W. Rosenlew Ab                           | Hieskoivikoita                      | Käytännön toiminnan aloittamiseen tähtäävän korjuukorjuun luominen |

Käsillä oleva raportti sisältää vuoden 1974 ohjelman päätulokset, joitten pohjalta pyritään hahmottelemaan kuvaa kokopuun korjuu- ja käyttömahdollisuuksista sekä kehitysnäkymistä Suomen oloissa. Työ on kuitenkin ainoastaan alullaan, ja vasta kun vähitellen siirrytään tutkimuksesta käytännön toimintaan, saa kehitysvauhti uudet mittasuhteet.

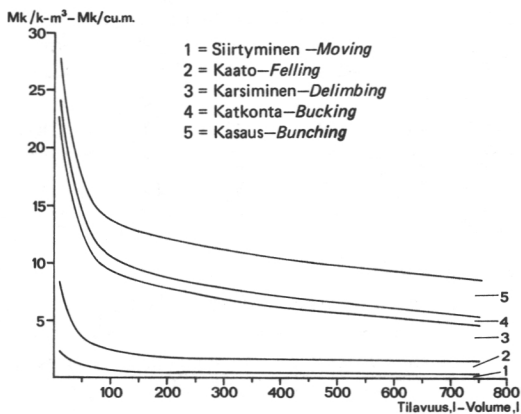
## 2. PIENIKOKOISEN PUUSTON KORJUUN ONGELMAT

Pienikokoisen puuston korjuuseen liittyy vaikeita ongelmia. Puun koon pienentyessä työn tuottavuus laskee ja kustannukset kohoavat. Rungon tilavuuden alittaessa 100 litraa käyvät muutokset jyrkiksi, kuten kuvien 1 ja 2 esimerkit osoittavat.

Puun rinnankorkeusläpimitan laskiessa alle 9 cm:n alkaa talteenotto käydä kannattamattomaksi. Raaka-aineen niukkuudesta ja metsänhoidollisista syistä johtuen pinotavaran vähimmäisläpimita ulotetaan kuitenkin pölkkykoh-taisen kannattavuusrajan alapuolelle, niin että yleisesti sovelletut vähimmäisvaatimukset ovat havupuupölkkyllä 2 m:n pituus ja 6 cm:n läpimitta sekä lehtipuulla vastaavasti 2 m:n pituus ja 7 cm:n läpimitta. Perinteisillä ihmistyövaltai-

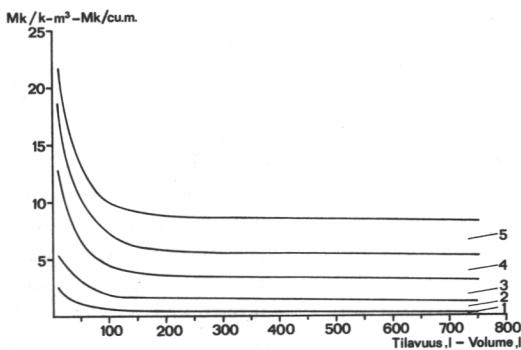
silla korjuumenetelmillä ei näitten rajojen alentamiseen ole paljonkaan mahdollisuuksia. Ja jos niitten alittaminen tietyn kustannustason vallitessa muuten kävisikin päinsä, estänee sen vastaisuudessa kuitenkin metsätyövoimapula.

Korjuun kehitys käy kohti koneellistettuja menetelmiä. Metsäteollisuuden ja metsähallituksen hakkuissa valmistettiin hankintakaudella 1973-74 vasta vain 2 % puutavarasta monitoimikonein (SAVOLAINEN 1974), mutta 1980-luvun alkaessa vastaavan prosenttiosuuden enustetaan olevan jo 30 (MIKKONEN, PELTONEN, SAVOLAINEN ja VESIKALLIO 1975). Nykyiset monitoimikoneet eivät kuitenkaan tarjoa ratkaisua pienikokoisten puitten korjuuseen, sillä niitten tuotos on tyydyttävä vain



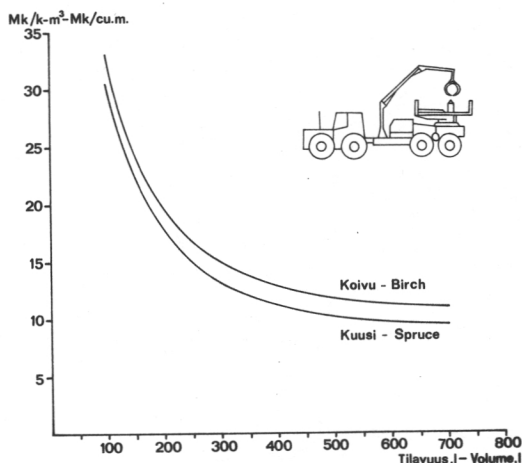
Kuva 1. Tynkäkarsitun, silmävaraisesti katkotun 3-metrisen kuusikuitupuun tekopalkan rakenne Etelä-Suomessa vuonna 1974 keskimääräisissä leimikko-oloissa rungon tilavuudesta riippuen (Metsä- ja uittoalan...1974). Sosiaalikulannukset eivät ole mukana.

Figure 1. The structure of cutting wages for rough-limbed, about 3-m spruce pulpwood in southern Finland in 1974, in average conditions, as a function of tree volume (Metsä- ja uittoalan...1974). Social security costs are not included.



Kuva 2. Pinnanmyötäisesti karsitun 2-metrisen koivukuitupuun tekopalkan rakenne Etelä-Suomessa vuonna 1974 keskimääräisissä leimikko-oloissa rungon tilavuudesta riippuen (Metsä- ja uittoalan...1974). Sosiaalikulannukset eivät ole mukana.

Figure 2. The structure of cutting wages for close-limbed 2-m birch pulpwood in southern Finland in 1974, in average conditions, as a function of tree volume (Metsä- ja uittoalan... 1974). Social security costs are not included.



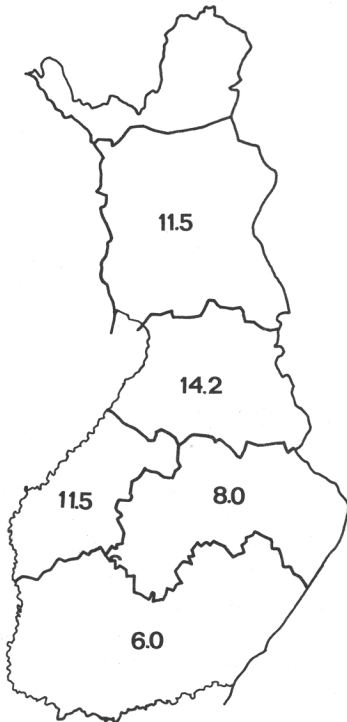
Kuva 3. Esimerkki puun koon vaikutuksesta koneellistetun karsinta- ja katkontatyön kustannuksiin. Tvig-proessori kesällä 1974 (MIKKONEN ja TYNKKYEN 1974).

Figure 3. An example of the effect of tree size on the cost of mechanized delimiting and bucking. Tvig processor in 1974 (MIKKONEN and TYNKKYEN).

järeitä puita käsiteltäessä ja ne toimivat lähinnä avohakkuuoloissa. Kuvan 3 esimerkki (MIKKONEN ja TYNKKYEN 1974) ja seuraava asetelma (VESIKALLIO 1974) osoittavat, että tähtäkään kehityslinjalta ei ole odotettavissa helpotusta pienten puitten korjaukseen. Koneellistaminen on ratkaisematta siellä, missä sitä eniten tarvittaisiin.

|                                 | Rungon koko, litraa                 |      |      |
|---------------------------------|-------------------------------------|------|------|
|                                 | 30                                  | 180  | 800  |
|                                 | Käyttötuntituotos, k-m <sup>3</sup> |      |      |
| Kaato-kasauskone                | 4.3                                 | 16.6 | 50.6 |
| Kaato-juontokone                | 1.8                                 | 8.5  | 25.6 |
| Pieni prosessori palstalla      | 1.6                                 | 7.8  | 23.6 |
| Pieni prosessori ajouralla      | 2.6                                 | 10.1 | 31.0 |
| Pieni prosessori välivarastolla | 2.8                                 | 10.9 | 33.5 |

Pienikokoisen puuston korjuuta rasittaa myös suuri tähteitten osuus. Erityisesti lehtipuulla on hukkapuun määrä suuri. Raaka-ainekertymä pinta-alayksikköä kohti jää vastaavasti pienemmäksi, jolloin talteen otettavan puukuutiometrin kustannukset kohoavat. Kuva 4 osoittaa runkohukkapuun osuuden maan eri osissa 1960-luvun lopussa. Alueittaiset erot ai-



Kuva 4. Tähteitten osuus runkopuun hakkuupoistumasta Suomen eri osissa 1960-luvun lopussa (vrt. MIKKOLA 1972).

Figure 4. The proportion of waste wood in the annual drain of bole wood in different parts of Finland at the end of the 1960s (cf. MIKKOLA 1972).

heutuvat ensisijaisesti puuston koon vaihtelusta – eivät niinkään menekkioista. Esimerkiksi Pohjanmaan korkea hukkapuuprosentti on seuraus soitten pienpuuston runsaudesta.

Ensiharvennusleimikoitten merkitys kasvaa tulevaisuudessa, kun puunkorjuutoiminta ulotetaan 1950-luvulla ja sen jälkeen perustettuihin metsiköihin. Mikäli pienpuun korjuuta ei kyetä ratkaisemaan uusin menetelmin, jää hakkuutähteiksi yhä suurempi osa puusadosta. Tätä kuvaa seuraava Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimsälautakuntia koskeva kehityssennuste (KILKKI ja PÖKÄLÄ 1974).

Puutavaralajijakautuma, %

| Ajanjakso | Järeä puu | Kuitupu | Tähteet | Yhteensä |
|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| 1973–1983 | 45        | 52      | 3       | 100      |
| 1983–1993 | 68        | 31      | 1       | 100      |
| 1993–2003 | 59        | 37      | 4       | 100      |
| 2003–2013 | 51        | 38      | 11      | 100      |
| 2013–2023 | 50        | 42      | 8       | 100      |

Kun pienikokoinen puusto korjataan perinteellisellä tavaralajimenetelmällä, yli puolet tekopalkasta koostuu karsimisesta ja katkomisesta. Näin on usein silloinkin, kun tyydytään tynkäkarsintaan ja silmävaraiseen katkontaan. Seuraava asetelma antaa kuvan karsimisen ja katkonnan osuudesta työajanmenekistä tehtäessä pinnanmyötäisesti karsittua kaksimetristä pinotavaraa kourakasoihin ajouran varteen (KAHALA 1969).

|             | Kuusi | Mänty | Koivu |
|-------------|-------|-------|-------|
|             | %     |       |       |
| Siirtyminen | 7     | 9     | 10    |
| Kaato       | 12    | 19    | 19    |
| Karsinta    | 46    | 34    | 29    |
| Katkonta    | 21    | 21    | 24    |
| Kasaus      | 14    | 17    | 18    |
| Yhteensä    | 100   | 100   | 100   |

Pölkkyjen valmistaminen teollisuuden nykyaikaisiksi vastaaviksi tapahtuu siis korkein kustannuksin ja siten, että se johtaa samalla talteen saatavan biomassan määrän supistumiseen. Jos karsimisesta ja katkomisesta luovutaan, avautuu uusia mahdollisuuksia korjuutyön ja raaka-aineen talteenoton samanaikaiselle tehostamiselle. Kun kokonaisten, karsimattomien puitten kaukokuljetukseen ja käsittelyyn tehdasvarastolla kuitenkin liittyy tiettyjä vaikeuksia, näyttää tarkoituksenmukaiselta työstää kokonaiset puut hakkeeksi jo ennen kaukokuljetusvaihetta. Tällöin paranee kuormatilan käyttösuhte samalla kun yksin puin tapahtuvan käsittelyn sijaan tulee massa-artikkelin luonteinen kokopuuuhake, jonka kuormaus, purkaminen ja varastointi ovat ehkä helpommin rationalisoitavissa.

### 3. KOKOPUUHAKETUKSEN EDUT JA HAITAT PIENPUUN KORJUUSSA

Edellisessä luvussa on osoitettu, että kokopuuhankeutus tarjoaa mielekkään vaihtoehdon pienpuun korjuu-ongelmia ratkaistaessa. Seuraavassa tarkastellaan tähän uuteen puun korjuu- ja käyttöteknologiaan liittyviä myönteisiä ja kielteisiä näkökohtia metsätalouden eri osapuolten kannalta.

Mikäli kokopuuhankeutus kykenee ratkaisemaan pienpuun talteenoton edes osassa tässä raportissa kuvailtujen esimerkkitaustusten kaltaisista metsistä, saavutetaan merkittäviä voittoja, joilla kaikilla on kansantaloudessamme kerrannaisvaikutus. Metsätalouden tuottaman puun määrä vaikuttaa välittömästi jalostus- ja palvelujen tuotannon suuruuteen oloissa, joissa jalostus kykenee käyttämään kaiken kotimaisen puun ja merkittävää jalostuksen suurentamista ei katsota voitavan perustaa tuontipuun varaan (KUU-SELA 1974a).

#### 3.1. Kokopuuhankeutus metsänomistajan kannalta

Kokopuuhankeutus saattaa eräissä tapauksissa mahdollistaa pienpuun talteenoton sellaisin kustannuksin, että markkinakelvottomina pidetyille puille ja leimikoille syntyy kantohintaa. On kuitenkin korostettava, että pienpuusta tehdyn kokopuuhankeuden kantohinta ei voi nousta järeämmistä rungoista valmistettavan perinteellisen kuitupuun tasolle.

Pienpuun menekin paraneminen edistää vaaja- ja tuottoisten metsien kunnostamista, jos osakin hakkuualojen ja taimistojen perkaus- ja raivaustoimenpiteistä voidaan kokopuuhankeutusta käyttäen suorittaa omakustannushintaan. Tulevaisuuden suuri metsänhoidollinen ongelma, ensiharvennuskasvien puunkorjuu, saattaa omalta osaltaan helpottaa niinikään.

Kokopuuhankeutus on maanomistajalle mielekäs puunkorjuumenetelmä myös silloin, kun tähteet halutaan poistaa hakkuualalta tarkoin. Mainittakoon vain puistometsät, pelto- ja laidunmaitten pientareet sekä pelloksi, asutusalueeksi, polttoturvesuoksi tai vaikkapa allasalueeksi raivattavat metsämaat.

Esimerkin kokopuuhankeutuksen sovellutusmahdollisuuksista erikoistapauksissa antaa Pohjois-Suomeen suunnitteilla oleva Kemihäärän tekojärvi, jonka kokonaispinta-ala on suppeimmassa vaihtoehdossa 19700 ja laajimmassa 32600 ha. Kun aikaisemmin tapahtuneita virheitä ja laiminlyöntejä ei enää vastaisuudessa sallita, edellytetään allasalueen jätepuusto poistettavaksi tarkoin. Puuston määrä on todennäköisimmässä suppeimmassa vaihtoehdossa arvioitu seuraavaksi (vrt. Kemihäärän...1974). Oksien osuus perustuu Metsäntutkimuslaitoksen aikaisempiin tutkimuksiin (HAK-KILA 1971).

| Puutavaralaji                                       | Runkopuuta, k-m <sup>3</sup> |
|---|------------------------------|
| Sahapuu   | 57 000                       |
| Kuitupuu  | 199 000                      |
| Käyttöpuu yhteensä                                  | 256 000                      |
| Laatuvaatimukset täyttämätön runkopuu               | 134 000                      |
| Liian pienen hakkuukertymän alueelle jäävä ainespuu | 8 000                        |
| Rinnankorkeusläpimitaltaan alle 3 cm:n pienpuusto   | 7 000                        |
| Hukkapuu ilman oksia yhteensä                       | 149 000                      |
| Oksia 35 % runkopuusta                              | 142 000                      |

Koska perinteelliset korjuumenetelmät eivät mahdollista allasalueen pienikokoisen puun tehokasta talteenottoa, ovat suppeimmankin allasvaihtoehdon raivauskustannukset raivausasteesta riippuen 4–15 milj. mk. Tästä syystä etsitään kokopuuhankeutuksesta osaratkaisua, jonka avulla ehkä voitaisiin hyödyntää teollisuuden raaka- tai ainakin polttoaineeksi soveltuvaa jätepuuta ja samalla alentaa varsinaisia raivauskustannuksia.

Havupuitten hakkuutähteet tarjoavat leviämislustan kasvavia puita vahingoittaville tuohyönteisille, ja erityinen vaara liittyy metsän tuntumaan kevätkesällä varastoituun kuorelliseen pinotavaraan. Hakkuutapahtumiin liittyvät hyönteistuhot aiheuttavat vuosittain tuntuvia kasvutappioita. Kokopuuhankeutusta käytettäessä vastaavia hyönteistuhota ei pääse syntymään.

Metsänomistajan kannalta kielteinen piirre sen sijaan on puun talteenoton tehostumiseen liittyvä maaperän ravinnetappioiden lisääntyminen. Millaisista taloudellisista arvoista on kysymys ja missä määrin menetykset tulee ja voidaan korvata lannoituksella, ei ole vielä

tutkimuksin riittävästi selvitetty. Niinpä esimerkiksi Ruotsissa esitetyt mielipiteet hakkuutaiteitten talteenoton vaikutuksesta havupuun taimien alkukehitykseen metsänuudistusalalla ovat jossain määrin ristiriitaisia (vrt. SÖDERSTRÖM 1974, SIRÉN 1975). Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosasto on tutkinut hakkuutaiteitten talteenottoon liittyviä ravinnetasapainokysymyksiä jo usean vuoden ajan (MÄLKÖNEN 1972), ja Skogshögskolan on vastikään käynnistänyt Ruotsissa laajan tätä aihepiiriä selvittelevän projektin.

Harvoin toistuvan kokopuuhaketuksen aiheuttama vaara metsämaan köyhtymisestä on suurin karuilla kasvupaikoilla, jolloin ratkaisevassa asemassa ovat lähinnä neulasten mukana kulkeutuvat ravinteet (vrt. MÄLKÖNEN 1972 ja 1974, Hakkuutaiteitten...1974, NYKVIST 1974). On kuitenkin huomattava, että kokopuunkorjuu toistuu harvoin, vain vuosikymmenien väliajoin, eikä niin ollen ole seurauksiltaan mitenkään rinnastettavissa esimerkiksi Keski-Euroopassa aikoinaan harrastettuun karikkeitten keruuseen.

### 3.2. Kokopuuhaketus metsätyöntekijän kannalta

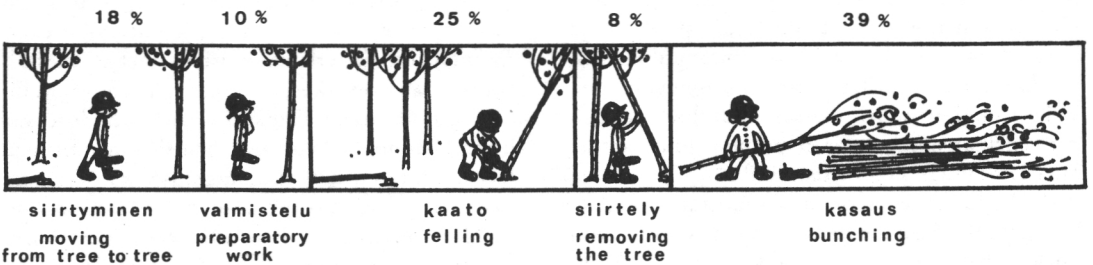
Mikäli kokopuuhaketukseen pohjautuva korjuuteknologia yleistyy pienpuun talteenotto-menettelmänä, se saattaa vaikuttaa myös metsätyöntekijän työoloihin. Muutokset kohdistuvat tuolloin sellaisiin raivaus-, perkaus- ja ensiharvennusmetsätyöntekijäihin, jotka näyttävät olevan työntekijälle vähemmän mieluisia kohteita ja joille työvoiman saanti jo nykyisin tuottaa monin paikoin vaikeuksia.

Pohjimmiltaan on kysymys tuottavuuden kohottamisesta runsaasti ihmistyötä vaativissa ja sen vuoksi usein kannattamattomissa korjuukohteissa. Metsänomistajalle muutoin kuluja aiheuttavan raivaustyön muuttuminen eräissä tapauksissa jopa tuloja tuottavaksi ja toisaalta ensiharvennusmetsätyöntekijän korjuutyön tuottavuuden kasvu luovat pitkällä tähtäyksellä pohjaa palkkatason kohoamiselle. Aikaisemmin korjuukelvottomaksi katsotun pienpuun talteenotolla on myös työllisyyttä parantava vaikutus,

Tavoitteena on koko korjuuketjun koneellistaminen, äärimmäisenä tulevaisuuden koneena avohakkuuoloissa pienpuusadon leikkuupuumuri. Avainasemassa on tällä hetkellä kuitenkin kevyempien koneitten kehittäminen, ja kun ergonomiset vaatimukset ovat muutoinkin vaikeasti toteutettavissa pieniä koneita metsämaastossa käytettäessä, on kehitystyössä kiinnitettävä erityistä huomiota työntekijän terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttaviin tekijöihin.

Karsiminen ja pääosa katkomisestakin käyvät tarpeettomiksi, mutta lopullisista tavoitteista riippumatta näyttävät kaato, suoriminen ja monissa tapauksissa kasauskkin jäävän alkuvaiheessa moottorisahamiehen tehtäviksi. Tässä työssä tullaan toimeen kevyellä sahalla, ja sen tehollinen käyttöaika jää suhteellisen vähäiseksi. Sen sijaan kasauksen osuus, milloin ei tyydytä suorimiseen, muodostuu suureksi. Kuvan 5 esimerkitapaus osoittaa tehotyöajan jakautumisen eri työvaiheisiin koivupuuston kaato- ja kasaustyössä syksyllä 1974 kahden työmaan keskiarvona. Kaadettujen puitten keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli 4 cm ja runkolu 4700 kpl/ha.

Kokopuuhaketusketjussa työmittaus on tehtävä totunnaisesta poiketen. Tarkka tie työ-



Kuva 5. Tekomiehen tekotyöajan jakaantuminen pienikokoisen hieskoivun kaato-kasaustyössä.  
 Figure 5. Distribution of the productive time of the worker in the felling and bunching of small-sized birch.



saavutuksen määrittämiseksi on hakkeen tilavuus- tai painomittaus, mutta aina ei ole mahdollista säilyttää usean työntekijän kaatamia puita haketusvaiheeseen saakka toisistaan erillään. Muilla tavoin tapahtuvaa palkkaperusteiden määrittämistä taas vaikeuttavat käytännössä suuret runkoluvut ja työn tuotokseen vaikuttavien puustotunnusten epämääräinen vaihtelu leimikoitten sisällä ja välillä. Erityisesti pinta-alan pohjautuvan palkanmaksutavan mahdollisuuksiin olisi kiinnitettävä huomiota (vrt. KAHALA 1975).

### 3.3. Kokopuuhaketus puun käyttäjän kannalta

Puun käyttäjän kannalta on kokopuuhaketuksen tärkein etu lisäraaka-aineen saaminen. Menetelmään tähtää meidän oloissamme nimenomaan sellaisen pienikokoisen puuston hyödyntämiseen, jonka biomassasta nykyisellä korjuutekniikalla voidaan vain vähäinen osa ottaa talteen. Lisäraaka-aineen suhteellinen osuus, jota esimerkein valaistaan luvussa 4, vaihtelee leimikosta riippuen. Kaikissa kokopuuhaketusseen soveltuvissa korjuukohteissa talteen saatava biomassa paisuu useita kymmeniä prosentteja, ja monissa tapauksissa olisi korjuu ilman hakemenetelmää taloudellisista syistä mahdotonta.

Kun metsätyövoiman määrä supistuu edelleen kuluvan vuosikymmenen jälkipuoliskolla, tulee pienpuun – myös ensiharvennuspuun – talteenoton toteuttaminen edes nykyisessä laajuudessa ehdottomasti edellyttämään työn tuotavuuden kohottamista. Tämä saattaa ennen pitkää osoittautua jopa kokopuunkäytön painavimmaksi perusteeksi.

Puun niukkuuden vallitessa metsäteollisuus saattaa hankkia marginaaliraaka-ainetta keskimääräistä korkeamminkin kustannuksin. Kokopuuhaketuksen kautta kertyvän lisäraaka-aineen odotetaan kuitenkin olevan myös kustannusil-

taan edullista. Karsimisesta, katkomisesta ja kuorimisesta luopuminen näet yksinkertaistaa korjuuta, ja myös hakkeen käsittely ja varastointi ovat tehokkaammin rationalisoitavissa kuin esimerkiksi ohuitten kuitupuupölkkyjen.

Hakemenetelmä asettaa korjuutoiminnalle kuitenkin tiukat organisatoriset puitteet, joiden laiminlyöminen tuottaa korjuuketjulle vakavia ongelmia. Ketjun kuumuus ja häiriöherkkyys aiheutuvat ensisijaisesti siitä, että haketta ei ilman määrä- ja laatuappioita voida ainakaan vielä nykyisissä menetelmissä purkaa maahan metsässä tai välivarastolla.

Kokopuuhakkeen heterogeeninen koostumus on tämän hetken jalostustekniikan kannalta kielteinen ilmiö. Otetaanhan runkopuun lisäksi talteen myös oksat kuorineen ja lehtineen. Lehtien määrä riippuu vuodenajasta, ja puulajisuhteet vaihtelevat leimikoittain. Kokopuuhakkeen kuori, lehdet, neulaset ja silmut nopeuttavat puuaineksen pilaantumista, niin että varastointiaika on supistettava lyhyeksi (vrt. GISLERUD 1974).

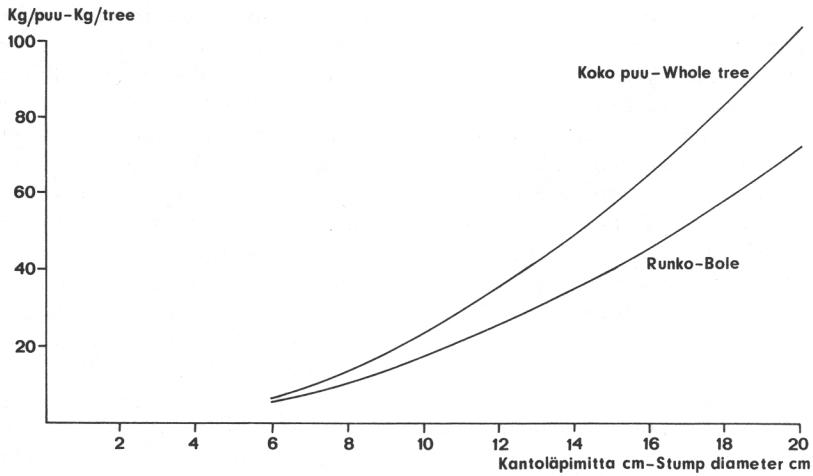
Lajittelemattoman kokopuuhakkeen käyttö rajoittuu niille teollisuudenaloille, jotka sallivat raaka-aineessaan ainakin jossain määrin kuorta. Prosessitekniikan kehittyminen, tehtaitten ajankäytön ja laitteiden mitoitussuhteitten oikaiseminen tulevat kuitenkin laajentamaan kokopuuhakkeen käyttöaluetta. Esimerkiksi sulfaattimassateollisuuden epärealistisen alhaiset kuoriprosenttirajat ovat lievenemässä ja menetelmät kuoren, lehtien ja neulasten erottamiseksi hakkeesta kehitystyön kohteina.

Pitkällä tähtäyksellä saattaa raaka-aineen hyödyntämisen kannalta osoittautua lopulta eduksi, että myös neulas- ja lehtimassa tuodaan kokopuuhakkeen mukana tehtaalle. On todennäköistä, että kemiallinen, biokemiallinen ja rehuteollisuus löytävät edullisia käyttömuotoja kokopuuhakkeesta erotettavalle vihertaloudelle.

## 4. PIENIKOKOISEN PUUSTON MAANPÄÄLLISEN BIOMASSAN KOOSTUMUS

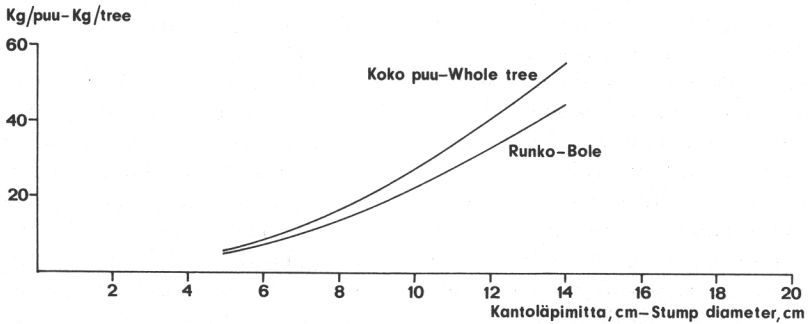
Kokopuuhaketuksella saadaan raaka-ainetta, jonka koostumus poikkeaa oleellisesti taveralajimenetelmällä korjatusta pinotavarasta. Mitä pie-

nemmät puut ovat korjuutoiminnan kohteena, sitä suuremmat ovat menetelmien väliset erot. Esimerkiksi seuraavat puun hankinnan ja käy-



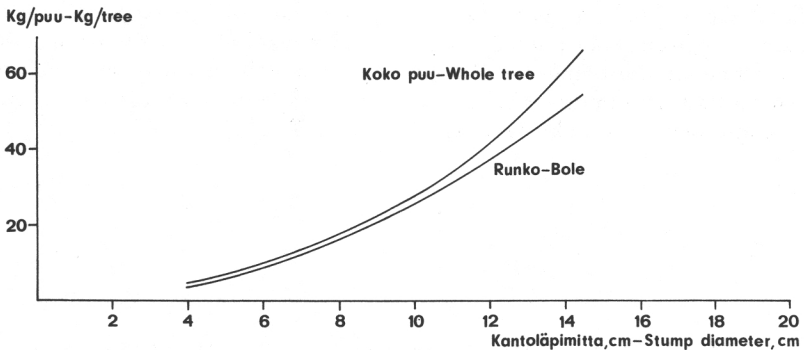
Kuva 6. Rungon ja kokopuun tuorepaino kantoläpimitasta riippuen. Hieskoivikko rämeellä Harvialassa maaliskuussa 1974.

Figure 6. The green weight of bole and full tree as a function of stump diameter. White birch on a swamp in Harviala in March 1974.



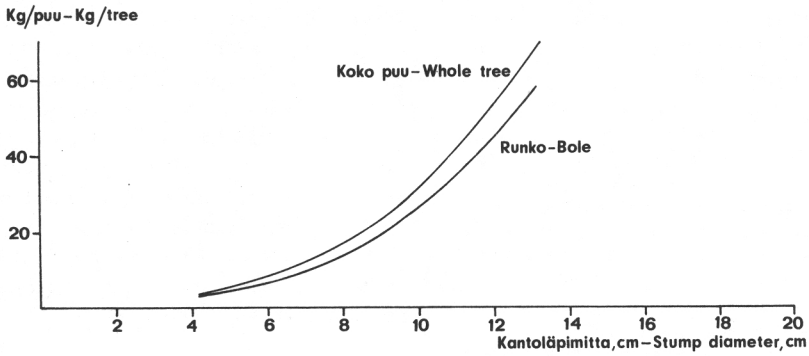
Kuva 7. Rungon ja kokopuun tuorepaino kantoläpimitasta riippuen. Hieskoivu korvessa sekametsikössä Kokemäellä lokakuussa 1974.

Figure 7. The green weight of bole and full tree as a function of stump diameter. White birch in a mixed stand of a spruce swamp in Kokemäki in October 1974.



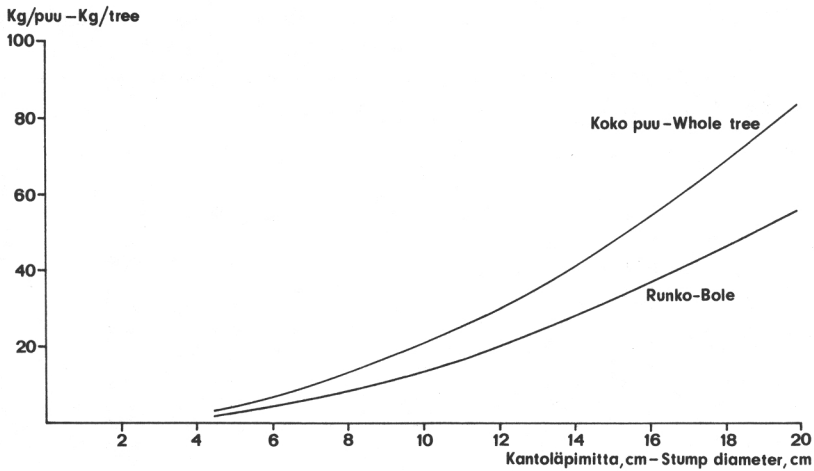
Kuva 8. Rungon ja kokopuun tuorepaino kantoläpimitasta riippuen. Ylitiheä hieskoivikko OMT-kanakaalla Kokemäellä lokakuussa 1974.

Figure 8. The green weight of bole and full tree as a function of stump diameter. Over-dense white birch stand on an Oxalis-Myrtillus site in Kokemäki in October 1974.



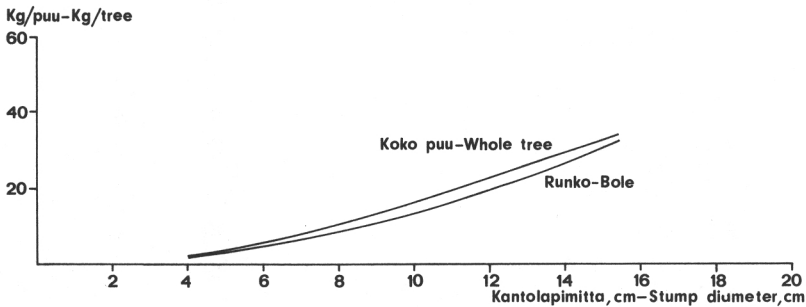
Kuva 9. Rungon ja kokopuun tuorepaino kantoläpimitasta riippuen. Harmaalepikkö entisellä kaski-aholla Parikkalassa lokakuussa 1973.

Figure 9. The green weight of bole and full tree as a function of stump diameter. Grey alder stand on former burned-over land in Parikkala in October 1973.



Kuva 10. Rungon ja kokopuun tuorepaino kantoläpimitasta riippuen. Rämemännikkö Harvialassa maaliskuussa 1974.

Figure 10. The green weight of bole and full tree as a function of stump diameter. A Scots pine stand on a swamp in Harviala in March 1974.



Kuva 11. Rungon ja kokopuun tuorepaino kantoläpimitasta riippuen. Tiheässä kasvanut ensiharvennumännikkö VT-kankaalla Keuruulla marraskuussa 1974.

Figure 11. The green weight of bole and full tree as a function of stump diameter. A dense Scots pine stand before the first thinning, on a Vaccinium site in Keuruu in November 1974.

tön vaiheet edellyttävät, että tunnetaan puitten maanpäällisen osan biomassan määrä ja koostumus erilaisissa leimikkokohteissa.

- Leimikosta saatavan kokopuuhakkeen määrän arvioiminen pystymittausta käyttäen edellyttää, että tunnetaan myös oksien sisältämä biomassa.
- Kokopuuhakkeen hinnoittelun perustana on raaka-aineen koostumus. Metsänomistajalle maksettava korvaus määräytyy tältä pohjalta ja riippuu siitä syystä voimakkaasti korjattavan puuston koosta.
- Työmittauksessa, erityisesti jos se tapahtuu vasta hakkeena, on oksien osuus tunnettava.
- Raaka-aineen ohjaaminen edullisimpaan käyttökohteeseensa sekä oikean prosessitekniiikan valitseminen edellyttävät kokopuuhakkeen koostumuksen tuntemista.
- Kokopuunkäyttöön liittyvät metsämaan ravintetasapainokysymykset kytkeytyvät paljolti metsästä poistettavan raaka-aineen koostumukseen, ennen kaikkea viheraineen osuuteen.

Tiedot kokopuunkäytön piiriin soveltuvan puuston koostumuksesta ovat vielä vaillinaisia.

Tässä esitettävät tutkimustulokset, jotka ovat vain suuntaa-antavia, perustuvat kolmeen päälähteeseen; Metsäntutkimuslaitoksessa tehtyyn tutkimukseen männyn ja kuusen oksiston koostumuksesta (HAKKILA 1971), Norjan metsäntutkimuslaitoksen selvityksiin pienikokoisten mänty-, kuusi-, koivu- ja harmaaleppäpuitten maanpäällisen osan biomassan koostumuksesta (GISLERUD 1974 b) sekä SITRAn lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin puitteissa kerättyyn aineistoon.

#### 4.1. Tuorepaino

Kuvat 6–11 sisältävät tyyppiesimerkkejä puun maanpäällisen osan tuorepainon jakautumisesta rungon ja oksien kesken. Kuvat perustuvat seuraaviin yhtälöihin, joitten sovellutusalue rajoittuu piirrosten osoittamiin kantoläpimittaluokkiin.

| Kuva<br>Fig. | Yhtälö – Equation                          | $100 \cdot R^2$ | s, kg |
|--------------|--|-----------------|-------|
| 6            | $Y_1 = 0.185x^2 - 1.1$                     | 83              | 8.9   |
|              | $Y_2 = 0.0041x^3 + 1.1$                    | 88              | 3.3   |
|              | $Y_3 = 0.269x^2 - 3.2$                     | 90              | 9.5   |
| 7            | $Y_1 = 0.231x^2 - 0.8$                     | 88              | 4.1   |
|              | $Y_2 = 0.0045x^3 + 0.2$                    | 88              | 1.1   |
|              | $Y_3 = 0.292x^2 - 1.8$                     | 91              | 4.3   |
| 8            | $Y_1 = 0.267x^2 - 1.1$                     | 78              | 7.4   |
|              | $Y_2 = 0.0128x^3 - 0.239x^2 + 1.62x - 3.3$ | 81              | 1.0   |
|              | $Y_3 = 0.0189x^3 - 34.7/x + 11.3$          | 82              | 7.6   |
| 9            | $Y_1 = 0.135x^2 - 0.2$                     | 89              | 2.7   |
|              | $Y_2 = 0.37x - 1.0$                        | 68              | 0.9   |
|              | $Y_3 = 0.249x^2 - 0.0666x^3 - 1.7$         | 93              | 2.5   |
| 10           | $Y_1 = 0.143x^2 - 0.7$                     | 95              | 3.9   |
|              | $Y_2 = 0.070x^2 - 0.4$                     | 70              | 5.2   |
|              | $Y_3 = 0.214x^2 - 1.1$                     | 92              | 7.4   |
| 11           | $Y_1 = 0.0251x^3 - 0.9$                    | 85              | 7.7   |
|              | $Y_2 = 0.063x^2 - 1.1$                     | 90              | 1.1   |
|              | $Y_3 = 0.0295x^3 + 1.4$                    | 86              | 8.5   |

$Y_1$  = Runkopuun tuorepaino, kg – Green weight of whole bole, kg

$Y_2$  = Oksien tuorepaino, kg – Green weight of branches, kg

$Y_3$  = Kokopuun tuorepaino, kg – Green weight of full tree, kg

$x$  = Kantoläpimitta, cm – Stump diameter, cm

Oksien määrä vaihtelee laajoissa rajoissa puitten rodullisista ominaisuuksista, kasvupaikasta, kasvutiheydestä ja muista tekijöistä johtuen. Tyypiesimerkit eivät siten sellaisenaan sovellu kaikkiin tapauksiin, mutta ne antanevat kuitenkin kuvan erilaisista leimikkokohteista saatavan kokopuuhakkeen tuorepainon jakaantumisesta käyttöpuiden, latvuspuun ja oksien kesken rungon kantoläpimitasta riippuen. Esimerkit anta-

vat myös viitteitä leimikoitten välisen vaihtelun laajuudesta.

Puun tuorepainon on tässä esitetty poikkeuksellisesti kantoläpimitan funktiona, sillä sitä käyttäen on saavutettu suurimmat selityksasteet. Jotta tuorepainon voitaisiin tarvittaessa ennustaa myös rinnankorkeusläpimitan perusteella, esitetään seuraavassa rinnankorkeus- ja kantoläpimitan välinen riippuvuus vastaavilla koealoilla.

| Kuva<br>Figure | Riippuvuudet – Equations   |                            | 100 R <sup>2</sup> | s, cm |
|----------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|-------|
| 6              | $D_k = 1.24 D_{1.3} + 0.8$ | $D_{1.3} = 0.81 D_k - 0.7$ | 96                 | 0.9   |
| 7              | $D_k = 1.32 D_{1.3} + 0.3$ | $D_{1.3} = 0.76 D_k - 0.2$ | 95                 | 0.5   |
| 8              | $D_k = 1.23 D_{1.3} + 0.4$ | $D_{1.3} = 0.81 D_k - 0.3$ | 95                 | 0.6   |
| 9              | $D_k = 1.23 D_{1.3} + 0.7$ | $D_{1.3} = 0.76 D_k - 0.2$ | 94                 | 0.7   |
| 10             | $D_k = 1.32 D_{1.3} + 0.3$ | $D_{1.3} = 0.76 D_k - 0.3$ | 93                 | 1.2   |
| 11             | $D_k = 1.19 D_{1.3} + 0.8$ | $D_{1.3} = 0.84 D_k - 0.7$ | 95                 | 0.6   |

$D_k$  = Kantoläpimita, cm – *Stump diameter, cm*

$D_{1.3}$  = Rinnankorkeusläpimita, cm – *Dbh, cm*

#### 4.2. Koostumus

Kokopuuraaka-aineen tuorepainon tunteminen on tärkeätä lähinnä korjuutekniseltä ja taksaperusteitten kannalta. Tältä osin ei ole useinkaan oleellista, miten tuorepainon jakaantuu puun, kuoren ja lehtien kesken.

Kokopuuhakkeen käyttöominaisuudet ja arvo sen sijaan määräytyvät paljolti siinä olevan kuori- ja lehtiaineksen mukaan. Silloin on ratkaisevaa eri komponenttien suhteellinen osuus kuivapainosta.

Pienikokoisten puitten kosteusprosentti on rungossa ja oksistossa lähes sama. Tämä pätee kuitenkin vain keskimäärin, sillä oksien ja rungon kosteus vaihtelee säästä ja vuodenaikasta riippuen eri tahdissa. Kuivapainoon päästään tuorepainosta seuraavilla keskimääräisillä kosteusprosentteilla, jotka soveltuvat myös kuvien 6–11 tapauksiin.

Kosteus  
tuorepainosta, %

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| Lehdetön hieskoivu          | 43 |
| Lehdetön harmaaleppä        | 52 |
| Ensiharvennusleimikon mänty | 55 |
| Ensiharvennusleimikon kuusi | 55 |

Rungon ja oksien kuivapainon jakautuminen eri komponenttien kesken esitetään taulukossa 1 norjalaisten tutkimusten pohjalta, sillä Suomessa ei ole vastaavia selvityksiä saatu vielä päätökseen. Keskeneräisten aineistojen ja suurempia havupuita koskevan tutkimuksen (HAKKILA 1971) perusteella arvioiden näyttävät norjalaiset tulokset soveltuvan verraten hyvin meidänkin oloihimme.

Kokopuuhakkeen puupitoisuus kasvaa puunkoon mukaan. Muutos on erityisen jyrkkä pienillä, rinnankorkeusläpimitaltaan alle 6 cm:n puilla. Kuusen puupitoisuus on huomattavasti alhaisempi kuin muitten puulajien.

Taulukon 1 tekninen vihermassa sisältää neulasen silmut ja läpimitaltaan alle 3 mm:n oksanosat. Ohuille oksankärjille on ominaista runsas uuteaineitten ja kuoren osuus sekä hakeuttamisen vaikeus, joten käytännössä on usein tavoitteena erottaa ne yhdessä lehtien ja neulasten kanssa omaksi jakeekseen ennen prosessia. Näin siis myös koivulla ja harmaalepällä on tekniseksi virhemassaksi luokiteltua kuiva-ainetta siitä huolimatta, että kysymyksessä on talvikaudella kerätty aineisto.

Taulukko 1. Kokopuuraaka-aineen biomassan koostumus puun rinnankorkeusläpimitasta riippuen (GISLERUD 1974 b).

Table 1. Composition of the biomass of the full-tree material as a function of breast height diameter (GISLERUD 1974 b).

| Komponentti – Component                                     | D <sub>1,3</sub> , cm – Dbh, cm |     |     |      |       |       |
|---|---------------------------------|-----|-----|------|-------|-------|
|   | 2–4                             | 4–6 | 6–8 | 8–10 | 10–12 | 12–14 |
| <b>HIESKOIVU (talviaika) – WHITE BIRCH (winter season)</b>  |                                 |     |     |      |       |       |
| Puu – Wood  |                                 | 67  | 73  | 75   |       | 77    |
| Kuori – Bark  |                                 | 21  | 19  | 19   |       | 17    |
| Tekninen vihermassa – Technical foliage *                   |                                 | 12  | 8   | 6    |       | 6     |
| Yhteensä – Total  |                                 | 100 | 100 | 100  |       | 100   |
| <b>HARMAALEPPÄ (talviaika) – GREY ALDER (winter season)</b> |                                 |     |     |      |       |       |
| Puu – Wood  |                                 |     | 80  | 81   | 79    | 80    |
| Kuori – Bark  |                                 |     | 16  | 15   | 16    | 15    |
| Tekninen vihermassa – Technical foliage *                   |                                 |     | 4   | 4    | 5     | 5     |
| Yhteensä – Total  |                                 |     | 100 | 100  | 100   | 100   |
| <b>MÄNTY – SCOTS PINE</b>                                   |                                 |     |     |      |       |       |
| Puu – Wood  |                                 | 68  | 74  | 75   | 75    |       |
| Kuori – Bark  |                                 | 19  | 16  | 15   | 15    |       |
| Tekninen vihermassa – Technical foliage *                   |                                 | 13  | 10  | 10   | 9     |       |
| Yhteensä – Total  |                                 | 100 | 100 | 100  | 100   |       |
| <b>KUUSI – NORWAY SPRUCE</b>                                |                                 |     |     |      |       |       |
| Puu – Wood  |                                 | 52  | 61  | 66   | 73    | 74    |
| Kuori – Bark  |                                 | 17  | 15  | 14   | 12    | 11    |
| Tekninen vihermassa – Technical foliage *                   |                                 | 31  | 24  | 20   | 15    | 12    |
| Yhteensä – Total  |                                 | 100 | 100 | 100  | 100   | 100   |

\* Tekninen vihermassa sisältää varsinaisen viheraineen lisäksi myös silmut ja läpimitaltaan alle 3 mm:n paksuiset oksanosat – Technical foliage includes leaves, needles, buds and the portions of twigs less than 3 mm in diameter.

Tiedot pienikokoisen puuston biomassan koostumuksesta ovat hajanaisia ja riittämättömiä. Luvussa 4.1. esitetyt yhtälöt sekä niihin pohjautuvat kuvat 6–11 osoittavat kuitenkin erikokoisten puitten tuorepainon, josta esitettyjen kosteusprosenttien avulla päästään edelleen kuivapainoihin. Ne taas voidaan jakaa

puun, kuoren ja teknisen vihermassan kesken taulukon 1 tietoja hyväksi käyttäen. Varsinaisen viheraineen, siis puhtaitten lehtien ja neulasten, osuuden osalta viitataan lukuun 9.1. Perusteellisempi selvitys kokopuuraaka-aineen ominaisuuksista on työn alla Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla.

## 5. KOKOPUUNKÄYTÖN KOHTEEKSI SOVELTUVA PUUSTO

Kokopuunkäytön piiriin pyritään valitsemaan leimikoita, joissa tämän puunkäyttömuodon edut korostuvat ja varjopuolet jäävät vähäisiksi. Huomio kiinnitetään lähinnä seuraaviin tekijöihin:

- Kokopuunakorjuun tulee johtaa talteen saatavan biomassan lisääntymiseen. Mitä lyhyemmät, pienemmät ja oksikkaammat puut ovat kysymyksessä, sitä suurempi on suhteellinen hyöty.
- Kokopuuhaketus tähtää miestyön tuottavuuden kohottamiseen. Perinteellisiin menetelmiin nähden hyöty on suurin pienikokoisella puustolla.
- Kokopuuhaketuksella pyritään myös kustannusten alentamiseen. Tekopalkan osalta suurimmat säästöt ovat saavutettavissa pienillä puilla. Alkuvaiheessa raajautuvat käytön piiristä vaikeakulkuiset ja toisaalta käyttöpisteistä etäällä sijaitsevat leimikot.
- Kokopuunkäytön edut korostuvat leimikoissa, joissa pienpuuston ja hakkuutähteitten talteenotto luetaan lisäeduksi esimerkiksi istutustyön helpottumisen, hyönteistuhojen supistumisen tai esteettisten syitten vuoksi.
- Mikäli kokopuuhake ei täytä tehtaan vähimmäisvaatimuksia, ei menetelmän käyttö tule kysymykseen. Myös mikäli kokopuuhakkeesta seuloen tai muulla tavoin erotettavan teknisen lehtimassan ja kuoren käyttöä raaka- tai polttoaineena ei voida ratkaista, murtuu pohja tältä puunkäyttömuodolta. Erityisesti kuusen kokopuunkäyttö on runsaan neulasmäärän vuoksi tuolloin vaikeata.
- Mikäli biologisista tai ravinnetasapainosyistä pidetään välttämättömänä, että oksat ja latvukset jäävät hakkuualalle, kokopuunkäytöstä on luovuttava. Rasiinkaato saattaa määrin lieventää haittoja, ja lehtipuitten osalta ongelma on vähäisempi talvikaatoa käytettäessä.

Yllä mainitut tekijät, joista pienpuun korjuutyön tuottavuuden kohottaminen on saamassa yhä suuremman merkityksen, määräävät kokopuunkäytön potentiaaliset metsikkökohteet Suomen oloissa. Verrattuna Yhdysvaltoihin, missä vuoden 1975 alussa oli käytössä jo yli 300 järeätä kokopuuhakkuria, korjuutyö joudutaan suorittamaan vaikeammassa puitteissa ja kohdistamaan huomattavasti pienempiin puihin.

### 5.1. Metsikkökohteet

Millaiseen puustoon kokopuunkäyttö Suomessa tulee kohdistumaan, riippuu korjuumene-

telmien ja perinteisen metsäteollisuuden prosessiteknisestä kehityksestä, kemiallisen ja biokemiallisen teollisuuden tuotekehittelystä, työvoimatilanteesta sekä vastaisista hinta- ja menekkioloista. Seuraava luettelo metsikkökohteista mukailee sitä järjestystä, jossa kokopuunkäyttö metsäpään näkökulmasta katsellen näyttää todennäköisimmin olevan toteutettavissa (Kuvat 12–17).

- *Vajaatuottoiset ja kitumaitten metsät.* Ensisijaisia kokopuunkäyttökohteita ovat lehtipuuvaltaiset vajaatuottoiset metsät, joitten pinta-ala valtakunnan metsien V inventoinnin mukaan on kaikkiaan 1.1 milj. ha ja kuorellinen puusto 72 milj. m<sup>3</sup>. Kitumaitten puusto, joka keskittyy pääosiltaan Pohjois-Suomeen, on vastaavasti 49 milj. m<sup>3</sup> (KUUSELA 1974b). Tyypillisiä kokopuuhaketukseen soveltuvia metsikkökohteita ovat:

- Harmaalepikot, jotka keskittyvät erityisesti Itä-Suomeen.
- Soitten hieskoivikot, joita on runsaimmin Pohjanmaalla ja joitten määrä ojitustoiminnan edistyessä edelleen lisääntyy.
- Metsittyneet, vajaatuottoisiksi jääneet pelto- ja laidunmaat.
- Pohjanmaan merenrantavyöhykkeen lehtipuuvesakot.
- Pohjois-Suomen heikkolaatuinen lehtipuusto, mukaan luettuna rakenteilla olevien allasalueitten jätetuusto. Yli neljännes pohjoisen lehtipuusta jää pienen kokonsa, heikon runkomuotonsa tai vikaisuuksien vuoksi tähteenä metsään (vrt. MIKKOLA 1972).

- *Ensiharvennusmetsiköt.* Metsiemme epänormaalin kehitysjakautuman seurauksena harvennushakkuista saatavan pienikokoisen kuitupuun kertymä kasvaa voimakkaasti 1990-luvulta lähtien, kun 1950- ja 1960-luvuilla perustetut taimistot saavuttavat ensiharvennusvaiheen. Muutoksen suunnan jyrkkyys ja ensiharvennusmetsiköitten korjuuongelmien ratkaise-



Kuva 12. Hieskoivikko rämeellä.  
*Figure 12. A white birch stand on a swamp.*



Kuva 13. Tiheänä kasvanut hieskoivikko OMT-kankaalla.  
*Figure 13. A dense white birch stand on an Oxalis-Myrtillus site.*

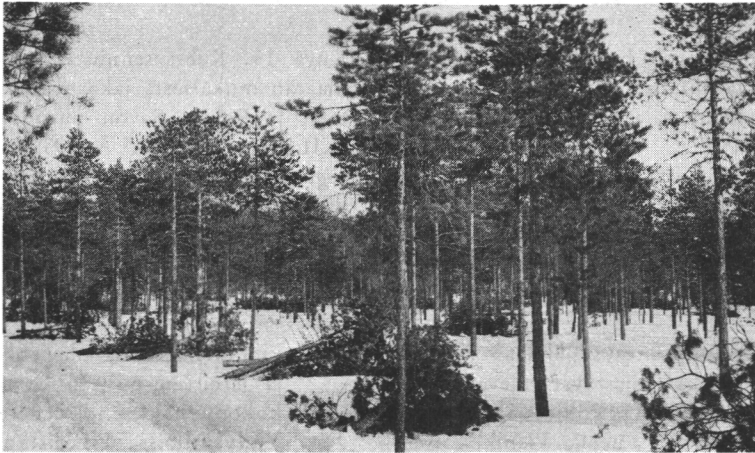


Kuva 14. Harmaalepikkö ahomaalla.  
*Figure 14. A grey alder stand on burned-over land.*





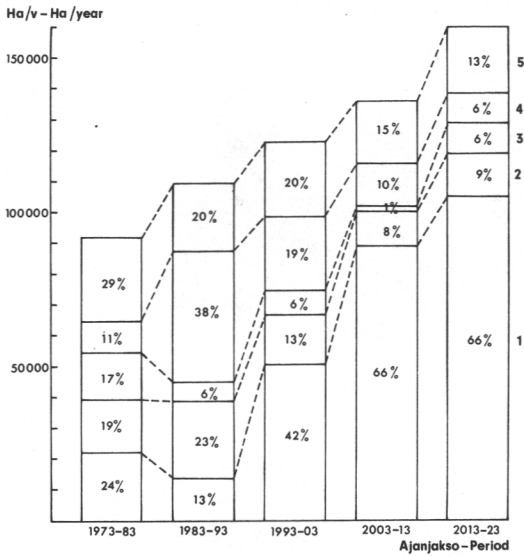
Kuva 15. Markkinakelvotonta kitumaan puustoa Pohjois-Suomessa.  
*Figure 15. Unmerchantable stand on unproductive forest land in northern Finland.*



Kuva 16. Rämemännikkö.  
*Figure 16. A Scots pine swamp.*

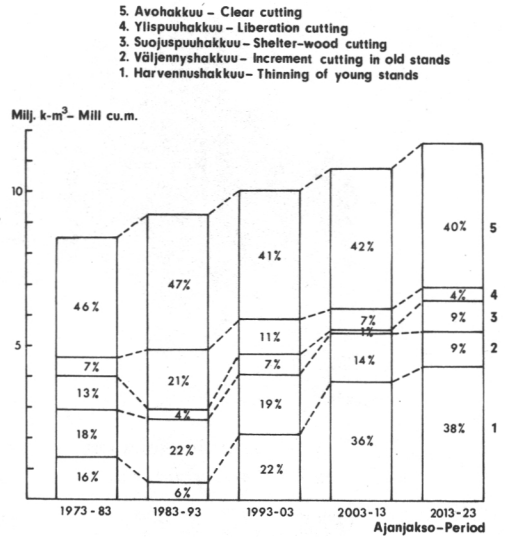


Kuva 17. VT-kankaan ensiharvennusmännikkö.  
*Figure 17. A Scots pine stand before the thinning, on a Vaccinium site.*



Kuva 18. Kehitysennuste hakkuitten pinta-alan mukaisesta jakaantumisesta Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa (KILKKI ja PÖKÄLÄ 1975).

Figure 18. A forecast of the development of the distribution of cutting on an areal basis in the Forestry Board Districts of Central Finland and North Savo (KILKKI and PÖKÄLÄ 1975).



Kuva 19. Kehitysennuste hakkuitten kuutiomäärän mukaisesta jakaantumisesta Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa (KILKKI ja PÖKÄLÄ 1975).

Figure 19. A forecast of the development of the distribution of cuttings on a volume basis in the Forestry Board Districts of Central Finland and North Savo (KILKKI and PÖKÄLÄ 1975).

misen välttämättömyys nähdään kuvista 18 ja 19, jotka heijastavat tulevaa kehitystä Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueella. Pienikokoisen ensiharvennuspuun talteenotto on massateollisuuden raaka-ainehuollon kannalta välttämätöntä mutta työvoimapulan vuoksi perinteellisin menetelmin vaikeasti toteutettavissa.

- *Taimistojen perkaus- ja raivauspuu.* Taimistohoidon tavoiteohjelmien viivästyksen vuoksi on maassamme suuri joukko verraten järeitäkin taimistoja pikaisen käsittelyn tarpeessa. Perkaus- ja raivaustöitä koneellistettaessa voidaan varttuimpien taimistojen osalta asettaa tavoitteeksi myös raaka-aineen talteenotto, jonka helpottamiseksi saattaa tulla kysymykseen myös hoitotoimenpiteen lykkääminen muutamalla vuodella. Mahdollisuus suorittaa nämä välttämättömät toimenpiteet omakustannushintaan edistäisi metsänhoidollisten ohjelmien toteuttamista.
- *Avohakkuuleimikoitten kuitupuun.* Eräänä vaihtoehtona voi tulla kysymykseen tuk-

kipuuleimikoissa olevien pienien puitten ja järeitten puitten latvojen talteenotto kokopuuhaakeena. Menetelmää käytetään Yhdysvalloissa. Erikoistapauksen muodostavat vanerikoivujen latvat, jotka korjuutyön ajoittamisesta johtuen ovat yleensä joko kokonaan lehdettömiä tai rasissa kuivuaan ainakin osan lehtimassastaan menettäneitä.

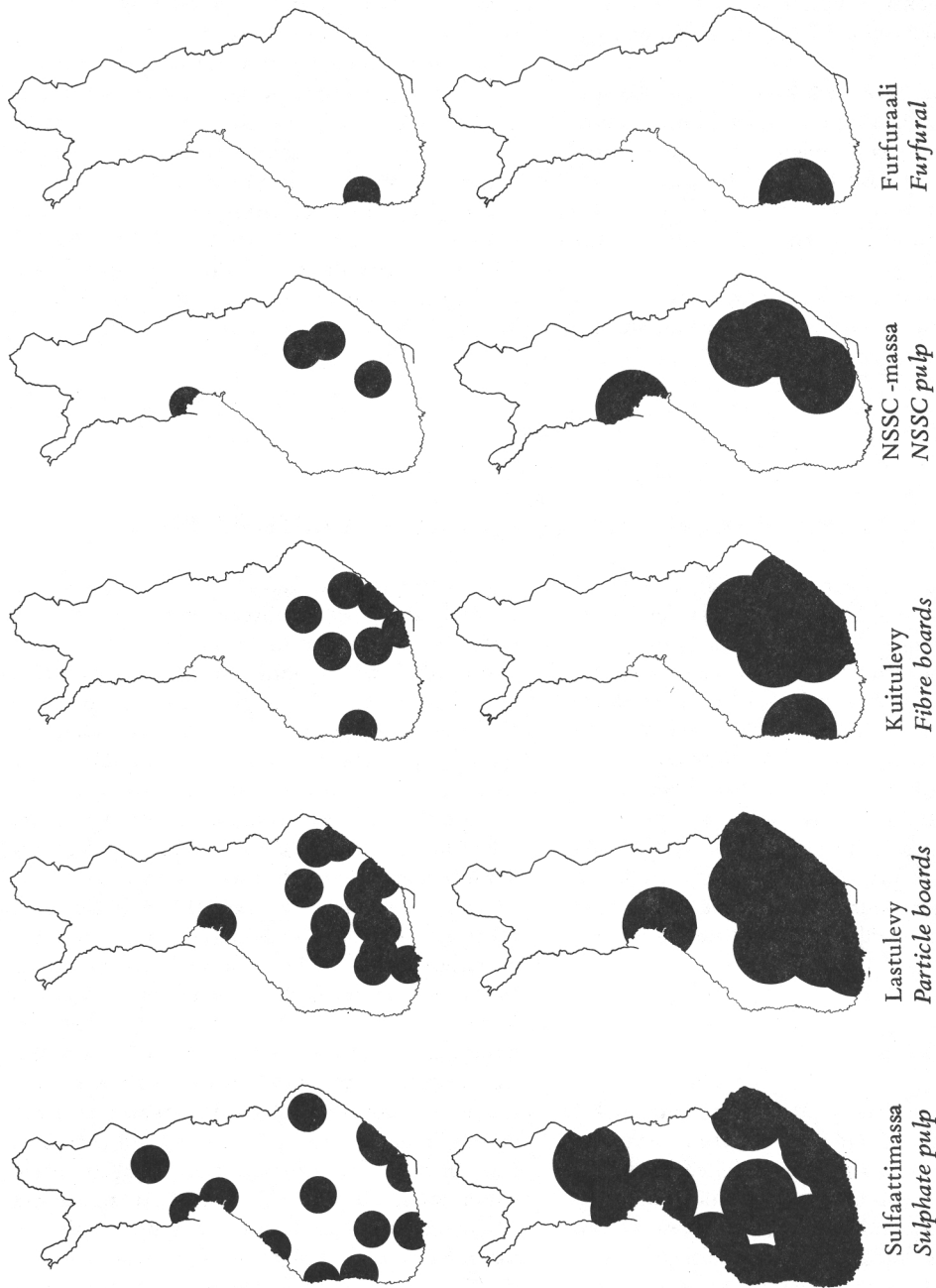
- *Lyhytkiertoviljelmät.* Eräs vaihtoehtoinen tulevaisuuden metsätaloumuoto on lyhytkiertoviljely, jonka päämääränä olevan korkean biomassatuotoksen hyödyntäminen edellyttää puun koko maanpäällisen osan talteenottoa. Korjuumenetelmät pohjautuvat tuolloin lähinnä leikkupuimurityyppiseen vesakkoharvesteriratkaisuun.

## 5.2. Maantieteellinen sovellutusalue

Mikäli kokopuunkäyttö saa sijaa metsätaloudestamme, se rajoittunee alkuvaiheessa kokopuuhaaketta ostavien tehdaslaitosten ympäris-

Säde 50 km  
Ratio 50 km

Säde 100 km  
Ratio 100 km



Kuva 20. Eri teollisuudenhaarojen piirissä 50 ja 100 km:n toimintasäteeseen sisällä oleva alue.  
Figure 20. The area within a radius of 50 and 100 kilometres of different branches of forest industries.

töön. Tavoitteeksi on kuitenkin asetettava pienpuusta tehdyn kokopuuhakkeen nollarajan hävittäminen.

Kokopuuhakkeen hankinta-alueen laajuus tehtaan ympärillä riippuu luonnollisesti kysynnästä ja tarjonnasta. Olemassa olevaa autokalustoa käytettäessä kuljetuskustannukset rajoittavat toimintasädettä jyrkemmin kuin perinteisellä puutavaralla, joskin erot ovat verraten vähäisiä.

Kuva 20 osoittaa tärkeimpien kysymyksen tulevien teollisuudenhaarojen kattaman alueen,

kun hankintasäde kunkin tehdaslaitoksen ympärillä on linnuntietä mitattuna vaihtoehtoisesti 50 tai 100 km. Vertailuna todettakoon, että Aktiebolaget Statens Skogsindustrier ja Domänverket ovat päätyneet Ruotsissa laskelmaan, jonka mukaan hakkuutähteistä tehdyn hakkeen hankinta oli kuitulevyteollisuudessa vuoden 1974 tilanteessa kannattavaa vielä 100–150 km:n etäisyydeltä tehtaasta (NORDLINDER 1974). Yhdysvalloissa olivat pisimmät kokopuuhakkeen kuljetusmatkat vuoden 1974 alkaessa 150 km.

## 6. KOKOPUUHAKETUKSEN KORJUUKETJUVAIHTOEHTOJA

Kokopuuhaketuksen perustuvat korjuuketjut rakentuvat hakkurin ympärille. Haketusvaiheen ajoittamisesta riippuen erotetaan palstahaketus, välivarastohaketus sekä alavarasto- tai tehdashaketus. Neljäs vaihtoehto on leikkuupuimurityypiseen monitoimikoneeseen pohjautuva menetelmä, jossa hakettaminen tapahtuu palstalla mutta joka muutoin oleellisesti poikkeaa varsinaisesta palstahaketuksesta.

Tässä luvussa esitettävät korjuuketjusovellutukset ovat esimerkin luonteisia. Tarjolla on toki muitakin ratkaisuja, mutta ne eivät näytä tässä vaiheessa meidän oloissamme yhtä ajankohtaisilta.

### 6.1. Palstahaketus

Pienpuuston kaato tapahtuu toistaiseksi moottorisahalla. Tehtävään soveltuu parhaiten kevyt saha, mutta sitä tulisi edelleen kehittää työn erikoisluonnetta silmällä pitäen. Esimerkiksi seisonta-asennosta turvallisen työskentelyn mahdollistavat kädensijat keventäisivät kaato-työtä fyysisesti. Koska kaadon tulee tapahtua suunnatusti, kaivataan myös suuntausta helpottavaa moottorisahan lisälaitetta,

Kaato voidaan tehdä myös raivaussahalla, mutta silloin tuottaa suuntaaminen vaikeuksia. Metsäntutkimuslaitoksessa on kuitenkin kehitteillä ketjuterällä varustettu raivaussaha, jota käytettäessä suuntaaminen helpottuu. Raivaussahan käyttöä hankaloittaa myös kasaus, joka useimmiten liittyy kaatotyöhön.

Moottorisahalla, raivaussahalla tai vesurilla tehty kaato ja siihen liittyvä kasaus ovat työntekijälle vähemmän mieluisia ja kustannuksiltaan kalliita työvaihtoja, joten ne on pyrittävä koneellistamaan. Hyvin pienikokoisen puuston avohakkuuoloissa tulee helppokulkuisessa maastossa kysymyksen maatalous- tai metsätraktorisovitteinen jatkuvatoiminen niittokone, jolta edellytetään ainakin suunnattua kaatoa mutta mieluummin myös kasausta. Tällaista konetta ei kuitenkaan ole toistaiseksi markkinoilla.

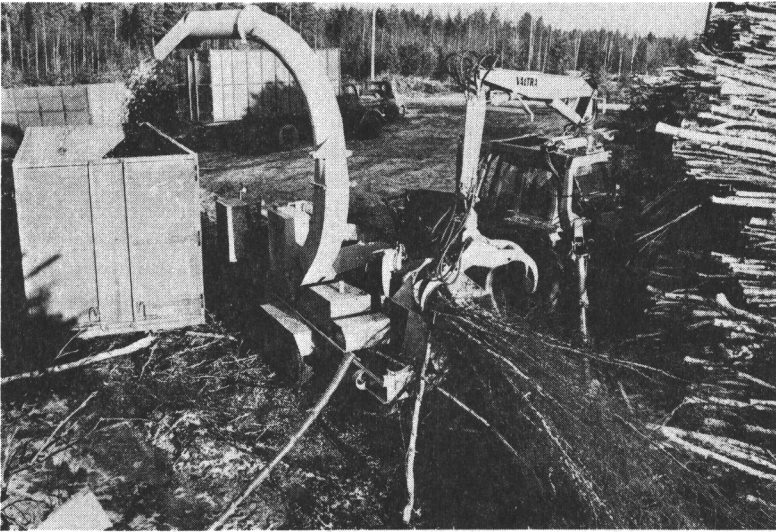
Sekä harvennus- että avohakkuihin tarvitaan pikaisesti kaato-kasauskonetta, joka katkaisee kerralla vain yhden puun tai yhdestä juurakosta syntyneen vesaryhmän. Puitten pieni koko ja harvennusleimikot edellyttävät tällä hetkellä käytössä oleviin kaato-kasauskoneisiin verrattuna kevyempää yksikköä. Koska korjataan vain pienpuuta, soveltuu kaatolaiteratkaisuksi myös hydraulinen leikkuuterä puuhun aiheuttamistään halkeamista huolimatta. Koneen tulee kyetä varastoimaan kouraansa tai taskuunsa samanaikaisesti useita pieniä puita, jotka se sitten kasaa taakoiksi ketjun seuraavalle koneelle. Kaato-kasauselin voidaan peruskoneratkaisusta riippuen kiinnittää joko puomin päähän tai esimerkiksi etukuormaajan paikalle. Kehitelytyössä tulee ottaa huomioon, että suuri osa korjuukohteista sijaitsee heikosti kantavilla mailla.

Menetelmä, jolla kokonaiset puut siirretään palstatien varteen, riippuu maastosta, korjattavasta ja jäävästä puustosta sekä palstatievälistä. Vaihtoehtoisia ratkaisuja ovat esimerkiksi edellä



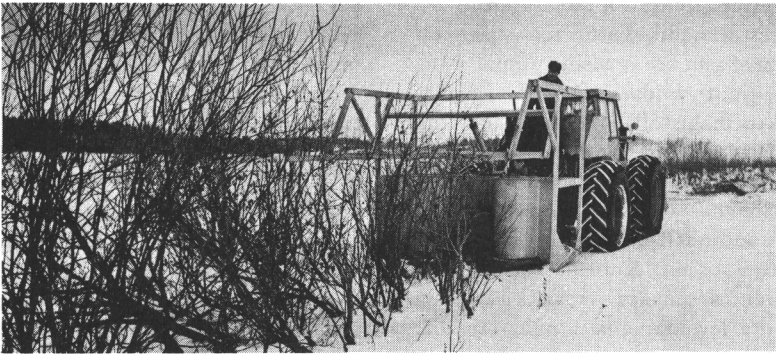
Kuva 21. Palstahaketus. PH-1 prototyypihakkuri avohakkuuoloissa.

*Figure 21. Full-tree chipping in terrain. The PH-1 prototype chipper in clear-cutting conditions.*



Kuva 22. Välivarastohaketus. Trelan D60 kokopuu-hakkuri, syöttökoneena Valmet 1102 traktori. Kaukokuljetus Autolava Oy:n vaihtolavoilla.

*Figure 22. Full-tree chipping at the landing site. Trelan D60 chipper fed by a Valmet 1102 tractor. Long-distance transport with containers of Autolava Oy.*



Kuva 23. Pallarin vesakkoharvesteriprototyyppi.

*Figure 23. The Pallari bush harvester prototype.*

mainittu kaato-kasauskone, palstatiellä toimivaan traktoriin asennettava pidennetty puomi, vintturit sekä kuljetus laahustaakkana pienetraktorilla vetäen.

Haketus tapahtuu palstatieltä käsin, avohakkuuoloissa vaihtoehtoisesti myös suoraan kannolta. Hakesäiliöllä ja kuormaimella varustettu haketusyksikkö siirtää puut, yhden tai useita kerrallaan, pakkosyöttölaitteensa kautta hakkuriin (kuva 21). Syöttölaitteen vaaka- ja pystysuunnan säätelymahdollisuus nopeuttaa toimintaa ja vähentää vaurioita harvennussmetissä. Mahdollisuus syöttää hakkuriin puita koneen kummaltakin puolelta tarjoaa merkittävän edun.

Säiliön täytyttyä palstahakkuri tyhjentää sen välivarastolla sijaitsevalle vaihtolavalle tai perävaunuun. Kysymykseen tulee myös hakkeen puhaltaminen palstatiien varteeseen pudotettaviin säkkeihin, verkkoihin tai paaleihin, jotka kuljetetaan välivarastolle kuormatraktorilla. Jos hake joudutaan purkamaan välivarastolla irrallisen maahan, tapahtuu huomattavia määrällisiä menetyksiä. Samalla hakkeen edelleen kuormaaminen vaikeutuu, ja mukaan tulee kiviä, hiekkaa ja pintakasvillisuutta.

## 6.2. Välivarastohaketus

Palstahakkurin maastokelpoisuutta on vaikea kehittää yhtä hyväksi kuin kokonaisia puita kuljettavan laahus- tai kuormatraktorin. Maastokelpoisuusvaatimuksen vuoksi palstahakkuri on yleensä rakennettava kevyemmäksi kuin välivarastohakkuri, mikä puolestaan merkitsee vähäisempää tehoa. Vaikeissa maasto-oloissa onkin aina turvauduttava välivarastohaketuksen.

Välivarastohaketusketju ei poikkea kaadon ja palstatiien varteeseen tehtävän kasauksen osalta palstahaketukselta. Lähikuljetus sen sijaan tapahtuu hakkeen sijasta kokonaisina puina.

Kokonaiset puut voidaan kuljettaa tavanomaisella traktorikalustolla. Laahustraktorilla kuljetus tapahtuu samoin kuin runkoja juonettaessa. Kuormatraktorilla jää tilan käyttö heikosta pinotihydestä johtuen tehottomaksi, ja pitkät puut joudutaan katkaisemaan kahteen tai jopa kolmeen osaan. Kuormatila voidaan kuitenkin suurentaa ainakin avohakkuuoloissa pankkorakenteita leventämällä ja pidentämällä. Kuormatraktorilla kokonaiset puut saadaan välivarastolle puhtaampina. Todettakoon, että jo pitkään kokopuuhaketta käyttäneet amerikka-

laiset massatehtaat ovat havainneet laahusjuonossa raaka-aineen sekaan joutuneen hiekan suuresti nopeuttavan koneitten kulumista.

Välivarastohaketuksen heikkoja lenkkejä ovat varastoalueen tilantarve ja hakkurin häiriöttömän puunsaannin turvaaminen (kuva 22). Yhdysvalloissa on päädytty kuumaan korjuuketjuun, jossa puut juonnetaan välivarastolle laahustraktorilla vasta haketustyön aikana ja hake puhalletaan suoraan hakkurin perässä tai sivulla olevaan katettuun puoliperävaunuun.

Suomen oloissa pyritään välttämään kuumia korjuuketjuja, joissa yhden koneen tai työvaiheen häiriintyminen nopeasti lamaannuttaa kaiken toiminnan. Meille soveltunee siten paremmin järjestelmä, jossa lähikuljetus tapahtuu ennen kokopuuhakkurin työmaalle tuloa. Hakkurin ja perävaunun tai vaihtolavan joustava siirtelymahdollisuus puukasalta toiselle työn edistymisen myötä on tällöin kuitenkin välttämätöntä, sillä muutoin joudutaan välivarastolla pitämään ylimääräistä konetta puitten siirtämiseksi hakkurin ulottuville.

Huomattakoon, että myös varsinaisia palstahakkureita voidaan luonnollisesti käyttää välivarastolla. Näin menetellään esimerkiksi talvisaikaan, jolloin hakkurin liikkuminen palstatiellä paksussa lumessa on työlästä.

## 6.3. Haketus tehdasvarastolla

Palsta- ja välivarastohaketuksen ohella tulee kysymykseen haketus ala- ja tehdasvarastolla. Menetelmä poikkeaa välivarastohaketukselta siten, että lähikuljetuksen lisäksi myös kaukokuljetus tapahtuu kokopuina.

Etuna on kuumen ketjun järjestelyvaikeuksista ja häiriöherkkyydestä vapautuminen, kun peräkkäiset työvaiheet eivät ole toistensa tahtiin sidottuja. Keskitetyllä varastolla mahdollistuu myös kiinteitten, todella tehokkaitten hakureitten käyttö ja lajittelun yhdistäminen haketustapahtumaan. Varjopuolena taas on kaukokuljetuskustannusten kohoaminen.

Maantiekuljetuksen lainsäädäntö rajoittaa kokonaisten puitten kuljettamista. Menetelmä edellyttää kaluston kehittämistä, eikä sitä käytetä toistaiseksi. Se saattaa kuitenkin tulla kysymykseen esimerkiksi Neuvostoliiton alavarasto-oloissa, ja siihen tähtäävää kehitystyötä tehdään myös Tanskassa ja Norjassa. Meillä voidaan kokonaisten puitten keskitettyä haketusta ajatella lähinnä tehtaan lähiympäristöstä

saatavalle tavaralle sekä esimerkiksi rautatie-, putki- tai aluskuljetusyhteyksillä varustetuilla alavarastotyyppisillä keskusasemilla.

#### 6.4. Leikkuupuimuriketju

Pienikokoisen puuston, erityisesti pensaikojen ja tulevaisuuden lyhytkiertoviljelmien puusadon korjuuseen suunnitellaan myös leikkuupuimurityyppisiä monitoimikoneita. Ne tulevat kysymykseen vain avohakkuuoloissa ja lähinnä tasaisessa maastossa. Toimintaperiaate voi pohjautua esimerkiksi koneen edessä tai sivulla olevaan jatkuvatoimiseen katkaisulaitteeseen sekä siihen liittyvään hakkuriin tai silppu-

riin, josta raaka-aine siirretään puhaltaen tai kuljettimella koneen perässä olevaan säiliöön, säkkeihin, verkkoihin, paalaimen tai rinnalla kulkevaan erilliseen ajoneuvoon.

Leikkuupuimurityyppiset vesakonkorjuukoneet vastaavat pidemmälle edennyttä kehitystasoa kuin mikään muu tunnettu puunkorjuumenetelmä. Erityisesti on pantava merkille, että samalla kun ne edustavat korkeata koneellistamisastetta ne pyrkivät ratkaisemaan nimenomaan pienikokoisimman puuston ja pensaikojen korjuuongelman. Tällaisia toisen sukupolven kokopuunkorjuukoneita ei ole toistaiseksi markkinoilla. Kehityslinjaa edustaa kotimainen Pallarin vesakkoharvesteriprototyyppi (kuva 23).

### 7. KOKOPUUHAKKURIT

Hakkurilla on keskeinen asema kokopuuraaka-aineen korjuuketjussa. Sen asemapaikka, siirrettävyys, maastokelpoisuus, kapasiteetti ja toimintavarmuus luovat puitteet, joitten ympärille toiminta rakentuu.

Pienikokoisten puitten talteenotto oksineen edellyttää tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja muittenkin koneitten kuin hakkurin osalta. Kun kehitystyö on kuitenkin vasta alkuvaiheessa, ei vielä ole tarkoituksenmukaista esittää yksityiskohtaista katsausta meille soveltuvien korjuuketjujen kalustosta. Kaato, kasaus ja lähikuljetus ovat teknisesti toteutettavissa ilman erikoiskalustoakin, mutta pitkällä tähtäyksellä niiden kehittäminen on välttämätöntä.

Kokopuuhakkureittenkin kehitys on käymis-tilassa. Ainoastaan Yhdysvalloissa on kokopuuhakkureita ollut jo jonkin aikaa markkinoilla, mutta eurooppalaiset koneet ovat suureksi osaksi vasta prototyyppiasteella. Seuraavassa selostetaan nykyisin käytössä olevaa kokopuuhakkurikalustoa.

#### Morbark Model 75 Total Chiparvestor

Valmistaja on Morbark Industries Inc., Winn. Michigan 44896. Laitetta on myyty vuodesta 1970 lähtien ja sitä on valmistettu noin 300 kappaletta. Hinta tehtaalla on varustelusta riippuen noin

100 000 dollaria. Se toimii vain väliavarastohakkurina. Siirtely suoritetaan yleensä hakeautolla vetäen.

Koneen pituus on 11.0 m, leveys 244 cm, korkeus 381 cm ja paino 26 tonnia. Voimanlähteenä on 310 hv:n Cummins dieselmoottori.

Kuormaimen ulottuvuus on 6 m, kääntökulma 400° ja nostovoima 1.5 m:n etäisyydeltä 6500 kg. Nivelpuomikuormain tullaan lähitulevaisuudessa korvaamaan liukupuomilla. Hakkurin takana olevan syöttöpöydän pituus on 5.1 m, ja sen keskellä on hydraulisesti hallittava ketjukuljetin. Syöttöaukon yläpuolella ja kummallakin sivulla on pakko-syöttörulla. Ylärullan säätö on hydraulinen.

Hakkuri on halutusta palakoosta riippuen 3- tai 4-teräinen 75" laikkahakkuri. Pyörimisnopeus on 500 kierrosta minuutissa. Hakkurilla voidaan käsitellä läpimitaltaan 20" puita.

Kone on tehdas- ja alavarastohaketusta lukuun ottamatta liian järeä Suomen oloihin. Muutamia kappaleita on kuitenkin tuotu Keski-Eurooppaan.

#### Morbark Model 58 Total Chiparvestor

Valmistaja on Morbark Industries Inc., Winn, Michigan 48896. Laite on tullut markkinoille vuonna 1974 syrjäyttäen samalla Total Chiparvestor Model 48 koneen, jota valmistettiin 20 kappaletta. Hinta tehtaalla on noin 50 000 dollaria. Koneetta käytetään vain väliavarastolla.

Koneen pituus on 6.7 m, leveys 244 cm, korkeus 396 cm ja paino 11.7 tonnia. Voimanlähteenä on 310 hv:n Cummins dieselmoottori.

Syöttö tapahtuu takaapäin omalla kuormaimella, jonka liukupuomin ulottuvuus on 6 m ja kääntökulma 90°. Varsinainen syöttöpöytä puutuu, kuljettimen pituus on vain 1.2 m. Syöttöaukkoa, jonka mitat ovat 18" x 24", ympäröivät hydraulisesti säädellyt puristusrullat.

Hakkurin 58" laikassa on kolme terää. Pyörimisnopeus on 500 kierrosta minuutissa.

Hakkuri on omalla kuormaimella varustetuista amerikkalaisista kokopuuhaakkureista pienin. Sillä saattaa olla mahdollisuuksia myös Suomen oloissa, mutta vaikeutena ovat lähinnä siirtely välivarastolla ja puitten saattaminen hakkurin ulottuville.

#### Trelan Tree Chipper Model D-60

Hakkurin valmistaja on Strong Manufacturing Co., Remus, Michigan 49340. Laite tuli markkinoille vuonna 1973. Sitä on maaliskuun 1975 loppuun mennessä valmistettu noin 25 kappaletta, joista yksi on Suomessa. Hinta tehtaalla on noin 40 000 dollaria. Konetta käytetään vain välivarastohakkurina. Siirtely tapahtuu yleensä syöttökoneena toimivalla traktorilla.

Koneen pituus on 6.4 m, leveys 244 cm ja paino 7.5 tonnia. Deutz dieselmoottorin teho on 185 hv.

Trelan Tree Chipper on kevein Yhdysvalloissa valmistettavista kokopuuhaakkureista ja käytössä etenkin mäntyviljelmiltä tulevaa harvennuspuuta hakettaessa. Kone hakettaa tehokkaasti useasta pienikokoisesta puusta muodostettuja taakkoja ja soveltuu hyvin Suomen oloihin.

Hakkuria ruokkimaan tarvitaan erillinen kuormaaja, jolla puut asetetaan takana olevalle syöttöpöydälle pakkosyöttörullien puristukseen. Voidaan käyttää myös lähikuljetusajoneuvon kuormaajaa.

Laikka on halkaisijaltaan 60", kaksiteräinen ja kevytrakenteinen. Sen pyörimisnopeus on 627 kierrosta minuutissa. Puun enimmäisläpimitta saa olla 17".

Hakkeen palakokojakautuma on varsin tasainen. Syöttökulma on 37°. Syöttönopeus on 20-25 m/min hakkeen palakoosta riippuen.

#### Precision Model 75 Tree Harvester

Hakkuria valmistaa Precision Chipper Corporation, Leeds, Alabama 35094. Käytössä on vain muutamia kappaleita. Hinta on noin 100 000 dollaria. Käytetään yksinomaan välivarastohakkurina.

Hakkurin pituus on 10.7 m, leveys 243 cm, korkeus 389 cm ja kokonaispaino 27 tonnia. Voimälähteenä on 310 hv:n Cummins dieselmoottori.

Puomin ulottuvuus on 6 m, työskentelykulma 400° ja nostovoima 4.5 m:n etäisyydellä 3 400 kg. Takana olevan syöttöpöydän pituus on 7.5 m, ja sen keskellä on hydraulisesti hallittava, kumppaan-kin suuntaan toimiva ketjukuljetin. Syöttönopeus on 38 m/min.

Syöttöaukon ympärillä on pakkosyöttörullat.

Laikka on kolmiteräinen ja kykenee hakettamaan 22" puun.

#### Bush Harvestmaster

Valmistaja on Bush Manufacturing Company, Trussville, Alabama 35173. Hakkuri on ollut vain vähän aikaa markkinoilla. Hinta tehtaalla on yli 100 000 dollaria. Käytetään vain välivarastohakkurina.

Hakkurin pituus on 12.6 m, leveys 243 cm, korkeus 404 cm ja paino 33 tonnia.

Voimälähteenä on 317 hv:n Cat-343 dieselmoottori. Kuormaimen ulottuvuus on 6 m, työskentelykulma 400° ja nostovoima 6 m:n etäisyydellä 2 500 kg.

Taakse sijoitetun syöttöpöydän ketjukuljettimen pituus on 4.6 m. Syöttöaukon ympärillä on pakkosyöttörullat. Kolmiteräisen laikan läpimitta on 76". Hakkurin pyörimisnopeus on 500 kierrosta minuutissa ja maksimikapasiteetti 21 1/2".

#### Nicholson Complete Tree Utilizer

Laitetta valmistaa Nicholson Manufacturing Co., Seattle, Washington 98134. Hakkurin käyttö on mahdollista vain suurella varastopaikalla.

Voimälähteenä on 525 hv:n GM dieselmoottori. Kuormaajan ulottuvuus on 7.5 m, työskentelykulma 400° ja nostovoima 3 m:n etäisyydellä 7 400 kg. Painoltaan ja suoritusohjeltaan Nicholson Complete Tree Utilizer ylittää kaikki muut kokopuuhaakurit, ja se on selvästi liian järeä Euroopan oloihin.

Syöttöpöydän alkupää voidaan laskea maan tasalle syötön helpottamiseksi. Ketjukuljettimen pituus on 5.8 m ja nopeus 30 m/min. Hydraulisesti halittavat pakkosyöttörullat kykenevät taivuttamaan ja murtamaan 15 cm:n paksuisen oksan. Ylärullan lisäksi myös sivurullat ovat säädettäviä. Syöttö tapahtuu takaapäin. Hakkurin maksimikapasiteetti on 22". Muista kokopuuhaakkureista poiketen on Nicholson Complete Tree Utilizerissä spiraalihakku.

#### A B C - 1000 M

Valmistaja on AB Constructors, 28500 Markaryd, Ruotsi. Laitteen hinta on tehtaalla ilman käyttökonetta 25 000 kruunua. Hakkuri toimii lähinnä välivarastokoneena mutta voidaan asentaa myös palstalla toimivaksi.

Voimälähteenä on maataloustraktori, jonka hydraulivarsiin hakkuri asennetaan. Voimansiirto traktorista hakkuriin on mekaaninen ja syöttölaitteeseen hydraulinen. Syöttölaitteisto koostuu yhdestä ylä- ja kahdesta alatelasta. Syöttö tapahtuu takaviistosta käsin tai traktorin kuormaajalla.

Syöttöaukon leveys on 35 ja korkeus 25 cm. Laikan läpimitta on 100 cm ja pyörimisnopeus 1000 kierrosta minuutissa. Veitsiteriä on kaksi kappaletta. Hakkurin paino on 1250 kg.



Valmistaja on A. Ahlström Osakeyhtiö, 48600 Karhula. Laite on kehitetty karsitulle pienpuulle tarkoitettua siirrettävästä hakkurista, johon on lisätty pakkosyöttölaite. Hakkuri toimii ensisijaisesti välivarastolla. Hinta tehtaalla on ilman käyttötraktoria 65 000 markkaa.

Voimanlähteeksi tarvitaan erillinen maatalustraktori, jolla myös hakkurin siirtely välivarastolla ja työmaitten välillä tapahtuu. Kone on suunniteltu lähinnä käsin takaapäin syötettäväksi, mutta koneellinenkin syöttö lienee mahdollista.

Syöttölaiteiston muodostaa kuminen telakuljetin ja sen yläpuolella oleva kuminen supistustela. Syöttöaukosta mahtuu 310 mm paksuinen puu, mutta hakkurin todellinen kapaisteetti on pienempi. Hakkurin laikka on 3-teräinen ja läpimitaltaan 120 cm. Käyttötraktorin vähimmäistehon tulee olla 70 hv.

#### Motti-ASP-pienpuuhakkuri

Valmistaja on Alavuden Tehdas Oy, 63400 Alavus. Laitetta on helmikuun 1975 päätyessä myyty 7 kappaletta. Hinta tehtaalla on 4 900 mk ilman käyttökonetta. Voidaan käyttää pienpuun palsta- ja välivarastohaketuksessa.

Hakkuri asennetaan voimakoneena toimivan maatalustraktorin kolmipistekiinnitykseen suoraan perävaunun ja traktorin väliin. Syöttö tapahtuu sivulta joko käsin tai traktorin kuormaimella. Voimantarve on 30 hv.

Hakkurissa ei ole erillistä syöttölaitetta. Syöttöaukon mitat ovat 350 x 400 mm. Laikan halkaisija on 61 cm. Teriä on kaksi kappaletta.

#### PH 1 - prototyypin hakkuri

Tässä raportissa käsiteltävät kenttäkokeet on tehty PH 1-prototyypin hakkurilla. Siitä syystä seuraavassa esitetään koneesta teknisiä tietoja siitä huolimatta, että sen pohjalta on myöhemmin rakennettu kehittyneempi malli.

PH 1-prototyypin hakkuri on valmistettu urakoitsija Pertti Szejanjakin ja Työväline Oy:n yhteis-

työnä. Se on tarkoitettu ensisijaisesti palstahakkuriksi, mutta vaikeissa maasto-oloissa sitä käytetään välivarastolla.

Kokeissa käytetyn yksikön vetokoneena oli Fiat 750-maatalustraktori, jonka teho on 88 hv. Traktorin Wärtsilä 3000-kuormaajan ulottuvuus on 5.3 m ja työskentelykulma 380°.

Hakkurina on vakiovalmisteinen Bruks 850-laikehakkuri, jonka syöttöaukon koko on 26 x 25 cm ja terien luku kaksi kappaletta. Siirtymisen ajaksi pystyy nostettava, sivulle sijoitettu syöttölaiteisto koostuu ketjukuljettimesta ja sen yläpuolella olevasta pakkosyöttöruullasta. Syöttö tapahtuu suoraan sivulta.

Hakkurin kanssa samalla kaksiakselisella alustalla on verkkokatolla varustettu, tilavuudeltaan 13 m<sup>3</sup>:n hakesäiliö, joka tyhjenetään kippaamalla. Kippauskorkeus on 2.8 m, mikä mahdollistaa purkamisen maahan laskettuun vaihtolavaan.

PH 1-prototyypin pohjalta on edelleen rakennettu PH 2-prototyyppi, jonka perusteella tehdään vuonna 1975 ensimmäinen valmistussarja. Tärkeimmistä muutoksista mainittakoon kotimainen hakkuriosa, jonka hydraulinen voimansiirto mahdollistaa syöttökulman säätämisen vaaka- ja pystytasossa, vetävä perävaunu, suurennettu hakesäiliö, uusittu kuormain sekä vetokoneen järetyminen. Koneen hinta ilman vetokonetta mutta muutoin täydellisin varustuksin tulee olemaan todennäköisesti noin 120 000 - 140 000 mk.

#### Prototyypin koneita

Yllä mainittujen hakkureitten lisäksi on uusia koneratkaisuja kehitteillä eri tahoilla. Muun muassa seuraavien yhtiöitten ohjelmassa on välivarastolla tai palstalla toimivan kokopuuhakkurin rakentaminen.

- AB Constructors, Ruotsi
- Bruks Mekaniska Aktiebolag, Ruotsi,
- Compagnie William Gillet, Ranska
- Hedlunds Mek. Verkstad Ab, Ruotsi,
- Jobu, Norja
- Oy Algol Ab, Suomi
- Työväline Oy ja Perusyhtymä Oy, Suomi
- Vecoplan, Saksan Liittotasavalta
- ÖSA, Ruotsi.

## 8. TULOKSIA KORJUUKOKEISTA

Kokopuunkäyttöön tähtävän SITRA:n korjuukoeohjelman rinnakkaisina tavoitteina ovat alkuvaiheessa olleet koneitten ja menetelmien kehittäminen, saatavan lisäraaka-aineen määrän ja laadun selvittäminen sekä raaka-aineen toimittaminen käyttökokeisiin. Tämä luku kertoo

esimerkkitapauksia taakse jääneestä kokeiluvaiheesta, jonka aikana eri oloihin soveltuvat korjuuketjuvaihtoehdot hiljalleen ovat alkaneet hahmottua. Konekehittely on tätä kirjoitettaessa kuitenkin vain alullaan, eivätkä menetelmät vielä ole löytäneet läheskään lopullista

muotoaan. Vasta käytännön toiminta lopullisesti osoittaa tarkoituksenmukaisimmat ratkaisut.

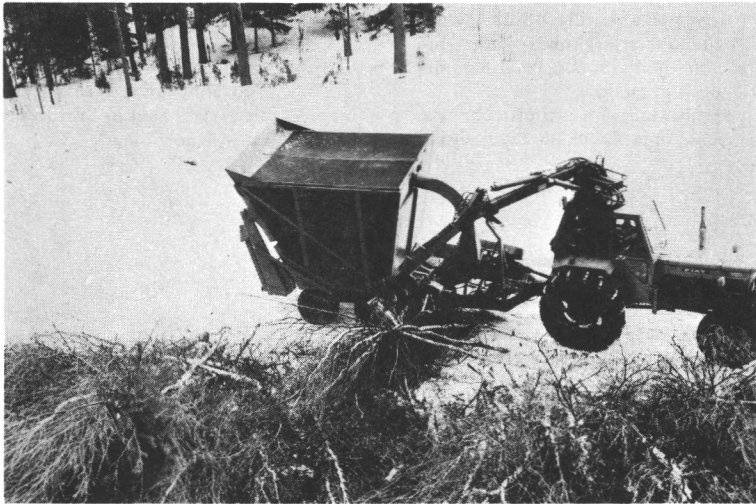
Kuvattavat menetelmät eivät siis sellaisenaan ole käytäntöön suositeltavia korjuuketjuja. Kokonaan uuteen korjuu- ja puunkäyttökologiaan tähtäävässä ohjelmassa edustavat pettymyksiäkin tuottaneet kokeet kuitenkin tärkeää etappia, ja kehitystaustan tunteminen saattaa olla hyödyksi, kun kokopuunkäyttöä ryhdytään soveltamaan suomalaisen metsätalouteen.

Korjuukokeitten tuotos- ja tuottavuuslukuja arvioitaessa on pidettävä mielessä, että haketusvaiheen osalta on jokaisessa tapauksessa ollut kysymyksessä prototyypikone (kuvat 24–26), josta koetyömailla saatujen kokemusten perusteella on jo kehitetty uusi, tehokkaampi kokopuuhakkuri. Koneitten kuljettajat ja hakkuumiehet ovat toimineet heille oudoissa tehtävissä, mikä omalta osaltaan lienee vaikuttanut työn tuotokseen.

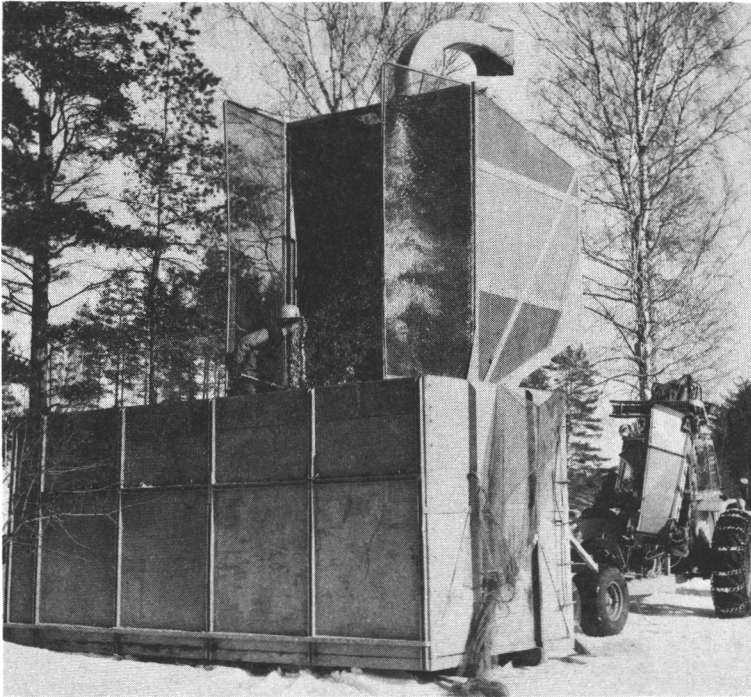
Kehittelytyön luonteen mukaisesti ja tutki-



Kuva 24. PH-1 prototyypihakkuri palstalla ensiharvennusemetsikössä.  
*Figure 24. The PH-1 prototype chipper in terrain in thinning conditions.*



Kuva 25. PH-1 prototyypihakkuri välivarastolla.  
*Figure 25. The PH-1 prototype chipper at the landing site.*



Kuva 26. PH-1 prototyyppihakkuri purkamassa kuormaansa vaihtolavalle.

Figure 26. The PH-1 prototype chipper unloading into an exchangeable container at the landing site.

mukseen kuuluneista mittauksistakin johtuen sattui korjuukokeissa runsaasti keskeytyksiä. Ne on vähennetty pois lopputuloksista, ja mitattujen sijasta on keskeytysten osuudeksi oletettu kaikissa laskelmissa 10 % tehotyöajasta.

### 8.1. Harmaalepikön avohakkuu

#### Ongelman tausta

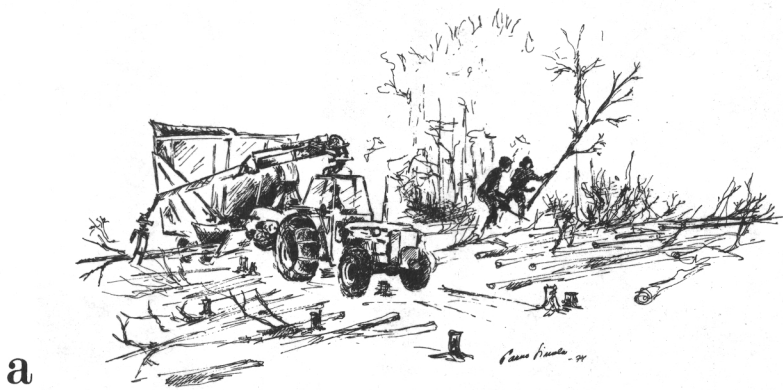
Etelä-Suomen vajaatuottoisiksi luokitelluista metsistä koostuu huomattava osa harmaalepiköistä. Metsänhoidollisena tavoitteena on puulajin vaihto, joka monesti voi tapahtua suoraan avohakkuun tietä tai korjuutyön kanalta ainakin lähes avohakkuuta vastaavissa oloissa.

Harmaalepiköt ovat erityisesti Itä-Suomen ongelma. Niitten painopiste on Itä-Hämeen, Etelä-Savon, Itä-Savon, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan sekä toisaalta myös Vaasan piirimetsälautakuntien alueella. Valtakunnanmetsien kolmannen inventoinnin aikoihin oli leppä-

puuta 14 milj.  $\text{k-m}^3$  (ILVESSALO 1956), eikä sen määrä lienee myöhemmin oleellisesti supistunut.

Harmaalepiköitten hyödyntämisen tiellä on ennen kaikkea puuston pieni koko. Tavaralajimenetelmällä puutavaran teko ja käsittely yksin kappalein muodostuvat kalliiksi, ja heikkoon runkomuotoon liittyvä alhainen pinotiheys nostaa kuljetuskustannuksia. Tähteitä jää paljon, ja vielä tehdaskuorintavaiheessakin puunhukka on poikkeuksellisen suuri, kun pienikokoiset ja lujuudeltaan heikot pölkyt pyrkivät murskaantumaa muun puutavaran seassa rummussa pyöriessään. Lisäksi vielä alhainen puuaineen tiheys vähentää leppäpuun jalostusarvoa, ja myös varastointitappiot ovat vaikeutena, sillä lahottajasienet etenevät nopeasti leppäpinotavarassa (HAKKILA 1970).

Leppäpuuston poikkeuksellisen pieni koko näkyy seuraavasta asetelmasta (ILVESSALO 1927). Tiedot tosin ovat vanhoja, mutta lepiköitten käsittely lienee vuosikymmenten kuluessa pikemminkin pienentänyt kuin järeyttänyt puuston keskikokoa.



Kuva 27. Eräitä tutkimussarjassa kokeiltuja korjuuketjuvaihtoehtoja:

- Harmaalepikön avohakkuu Parikkalassa. Kasaus ajouran varteen käsin, haketus palstalla.
- Harmaalepikön avohakkuu Parikkalassa. Kasaus ajouran varteen Bobcat M-600 kuormaajalla, haketus palstalla.
- Ensiharvennumännyn korjuu Keuruulla. Kasaus ajouran varteen käsin, haketus palstalla.
- Ensiharvennumännyn korjuu Keuruulla. Kasaus ajouran varteen käsin, lähikuljetus Lokomo 925 kuormatraktorilla, haketus välivarastolla.

| Läpimittaluokka, cm | Osuus leppäpuuston kuutiomäärästä, % |
|---------------------|--------------------------------------|
| – 10                | 66                                   |
| 10 – 20             | 26                                   |
| 20 – 30             | 8                                    |
| Yhteensä            | 100                                  |

Tätä taustaa vasten muodostavat harmaalepikkömmä mielekkään kokopuunkäytön keilukohteen. Näin lisäksi siitä syystä, että huomattava osa leppäpuusta ohjautuu lastu- ja kuitulevy- sekä aallotuskartonkiteollisuuteen, joilla aloilla kokopuunkäytön tiedetään edenneen juoheasti Yhdysvalloissa.



Figure 27. Alternative harvesting schedules experimented with in the project:

- a) Clear-cutting of grey alder in Parikkala. Manual bunching, chipping in terrain.
- b) Clear-cutting of grey alder in Parikkala. Bunching with a Bobcat M-600 loader, chipping in terrain.
- c) Thinning of small-sized pine in Keuruu. Manual bunching, chipping in terrain.
- d) Thinning of small-sized pine in Keuruu. Manual bunching, forest haulage with a Lokomo 925 forwarder, chipping at the landing site.

## Koeolot

Kokeet tehtiin Parikkalassa ja Kiteellä. Kummassakin tapauksessa runkoluku hehtaarilla oli korkea mutta puuston pääosa kooltaan markkinakelvotonta. Perinteellisten korjuumenetelmien puitteissa kumpikin koeala oli korjuu-

kelvoton. Alueet hakattiin aukeaksi ja kokopuuhaake käytettiin lastulevyn raaka-aineeksi.

Parikkalan koeala kuului kulkuvaikeudeltaan toiseen maastoluokkaan, Kiteen ensimmäiseen. Puustotiedot selviävät seuraavasta asetelmasta, jossa rinnankorkeusläpimitaltaan alle 3 cm:n paksuiset puut on jätetty huomioon ottamatta.

|                                 | Parikkala | Kitee |
|---------------------------------|-----------|-------|
| Rinnankorkeus-<br>läpimitta, cm | 5.9       | 4.6   |
| Pituus, m                       | 6.5       | 4.5   |
| Tilavuus oksitta, l             | 14.0      | 5.0   |
| Tilavuus oksineen, l            | 16.0      | 6.0   |

## Tutkitut korjuuketjut

Kokeeseen sisältyi kolme korjuuketjuvaihtoehtoa; kasaamattomien puitten palstahaketus, koneellisesti esikasattujen puitten palstahaketus sekä välivarastohaketus. Ensiksi mainittua tutkittiin Kiteellä kesällä 1974, muita kahta Parikkalassa puitten ollessa lehdettömiä syksyllä 1973 ja keväällä 1974.

Kiteellä puut kaadettiin moottorisahalla suunnatusti suomumaiseen muodostelmaan. Joissakin tapauksissa hakkuumies suori vierekäiset puut tyvipäästään yhteen. PH-hakkuri-prototyyppi kulki palstalla puitten kaatosuuntaan nähden kohtisuoraan noukkien oikealle puolelle jääneet puut kouralla joko yhden tai useita kerrallaan syöttölaitteen kitaan. Säiliön täytyttyä hakkuri kävi tyhjentämässä sen vaihtolavalle välivarastolla (kuva 27 a).

Esikasattujen puitten palstahaketusketjussa puut kaadettiin moottorisahalla suunnatusti ajouralta pois päin. Esikasaus tehtiin Bobcat M-600 pyöräkuormaajalla, joka haarukakourallaan keräsi karsimattomat puut kasoihin siten, että puitten tyvet suuntautuivat ajouraa kohti. Haketus tapahtui palstatieltä käsin (kuva 27 b).

Välivarastohaketusketjussa kaato ja keräily tehtiin samoin kuin edellisessä vaihtoehdossa. Bobcat M-600 pyöräkuormaaja ei kuitenkaan jättänyt puita palstatienvarten vaan kuljetti ne haarukakourassaan suoraan välivarastolle, missä haketus tapahtui.

## Työn tuotos

Kaato tehtiin moottorisahalla aikapalkkauksen pohjalta. Siihen liittyi käytännössä vähäinen suoriminen mutta ei varsinaista kasausta. Työ tapahtui edullisissa oloissa. Keskimääräinen kaatotuos miespäivää kohti oli  $14 \text{ k-m}^3$  runkopuuta eli  $16 \text{ k-m}^3$  kokopuuta, mikä vastaa  $40 \text{ i-m}^3$  kokopuuhaiketta.

Kasoilta suoritettua palstahaketusta varten puut kerättiin Bobcat M-600 pyöräkuormaajalla noin  $1.5 \text{ k-m}^3$  kasoihin. Esikasauksen tuotos oli oksat mukaan luettuina  $10.5 \text{ k-m}^3/\text{t}$ .

Taulukko 2. PH-hakkuriprototyypin ajanmenekki harmaalepän kokopuuhaiketuskokeissa.

Table 2. Time consumption of the PH chipper prototype in full-tree chipping of grey alder in clear-cutting conditions.

| Työvaihe – Work phase                              | Kasaamattomien puitten haketus palstalla<br>Chipping of unbunched trees in terrain |     | Haketus varastolla<br>Chipping in landing site |     |
|--|--|-----|--|-----|
|  | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose cu.m   | %   | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose cu.m       | %   |
| Siirtyminen työmaalle – Moving to work site        | 64   | 9   | 27   | 5   |
| Haketus – Chipping                                 | 458  | 63  |  |     |
| Siirtyminen haketuksessa – Moving during chipping  | 74   | 10  | 463  | 80  |
| Siirtyminen vaihtolavan luo – Moving for unloading | 76   | 10  | 26   | 4   |
| Kuorman purkaminen – Unloading                     | 55   | 8   | 66   | 11  |
| Tehoaika – Productive time                         | 727  | 100 | 582  | 100 |
| Keskeytykset – Breaks                              | 73   | 10  | 58   | 10  |
| Yhteensä – Total                                   | 800  |     | 640  |     |

Taulukko 3. Ihmistyön tuottavuus harmaalepän kokopuuhaketuskokeissa.

Table 3. The productivity of human labour in full-tree harvesting of grey alder. Average tree size, including branches, 6 litres in case I and 16 litres in case II.

| Työvaihe – Work phase  | Kasaamattomien puitten haketus palstalla<br>Chipping of unbunched trees in terrain (I) | Haketus varastolla<br>Chipping in landing site (II) |
|--|--|---|
|  | Miespäiviä/k-m <sup>3</sup> – Man-days/solid cu.m                                      |   |
| Kaato ja suoriminen – Felling and bunching                         | 0.063  | 0.063   |
| Kasaus palstatiin varteen – Bunching to strip road                 | –  | –   |
| Lähikuljetus kokopuina * – Transport of full trees                 | –  | 0.043   |
| Haketus – Chipping   | 0.030  | 0.028   |
| Hakkeen kuljetus vaihtolavalle * – Transport of chips to container | 0.010  | 0.008   |
| Yhteensä – Total   | 0.103  | 0.142   |
|  | Miespäiviä/i-m <sup>3</sup> – Man-days/loose cu.m                                      |   |
| Yhteensä – Total   | 0.041  | 0.056   |
|  | Miespäiviä/kuivattonni – Man-days/dry ton  |   |
| Yhteensä – Total   | 0.299  | 0.412   |

\* Lähikuljetusmatka menetelmässä I 300 m, menetelmässä II 100 m. –  
Transport distance in method I 300 m, in method II 100 m.

Väliavarastohaketusketjun yhdistetyssä kasaus- ja lähikuljetustyössä Bobcat M-600 pyöräkuormaajan haarukkakouran kuorma, keskimäärin 0.3 k-m<sup>3</sup> kokopuuta, jäi riittämättömäksi tavanomaisia lähikuljetusetäisyyksiä ajatellen. Tuotos oli 50 metrin matkalla 5.3 ja 100 metrin matkalla enää 3.0 k-m<sup>3</sup>/t.

Hakkurin aikatuotkimustulokset on esitetty taulukossa 2. Palstalla hakettaessa lähikuljetusmatka oli 300 m ja väliavarastohaketuksen purkausmatka vastaavasti 50 m. Esikasattujen puitten palstahaketus tulokset on jätetty pois, koska hakkuri ei kyennyt käyttämään hyväkseen menetelmän kasaamattomien puitten palstahaketuksen nähdessä tarjoamia etuja.

Taulukkoa vastaavat hakkurin tuotosluvut, 10 %n keskeytysaika mukaan lukien, ovat eri menetelmissä 3.0 ja 3.8 k-m<sup>3</sup>/t eli kokopuu-hakkeena 7.4 ja 9.4 i-m<sup>3</sup>/t.

Kun tutkimukset tapahtuivat rinnan kehityksen kanssa, on johtopäätökset tehtävä varoen. Edullisessa maastossa näyttää palstahaketus taloudellisimmalta ja järjestelyiltään yksinkertaisimmalta. Maaston vaikeutuessa kas-

vaa esikasauksen merkitys. Missä tapauksissa PH-hakkuria on edullisinta käyttää väliavarastolla, riippuu lopulta maastosta ja vetokoneen maastokelpoisuudesta. Huomattakoon kuitenkin, että järeämmät väliavarastohakkurit saattavat suurilla työmailla tehokkuutensa vuoksi osoittautua kilpailukykyisiksi helppokulkuisenkin maaston kokopuunkorjuussa.

Taulukko 3 osoittaa eri korjuuketjujen mies-työpanoksen tuotettua yksikköä kohti ilman työnjohtoa. Kokopuuhaake on tuolloin väliavarastolla vaihtolavalle kuormattuna.

#### R a a k a - a i n e k e r t y m ä

Tavanomaista lehtipuun 7 cm:n vähimmäisläpimittaa ja 2 m:n pituutta noudatettaessa yli 90 % Parikkalan ja Kiteen runkoluvusta olisi jäänyt kokonaan käyttämättä. Vähimmäiskoon täyttävistäkin rungoista olisi useimmissa tapauksissa saatu tavaralajimenetelmällä talteen vain yksi pölkky. Leimikot olivat pienen puukertymän vuoksi korjuukelvottomia.

Seuraava asetelma osoittaa teoreettisen raaka-ainekertymän tavaralaji-, runko- ja kokopuumenetelmiä vaihtoehtoisesti käytettäessä Parikkalan koealalla. Runkoinakorjuu edellyttää karsimista eikä kustannussyistä voi käytännössä tulla kysymykseen. Toisaalta jää kuitenkin myös kokopuuhaketusmenetelmässä pieniä runkoja ja oksia tähteeksi, joten kertymä ei sitäkään käytettäessä täysin vastaa teoreettisia arvoja. Puupitoisuus perustuu aikaisempiin tutkimuksiin (HAKKILA 1970, GISLERUD 1974 b).

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Tavaralajimenetelmällä (7 cm/2 m) |      |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 7.7  |
| Tuorepaino, t/ha                  | 5.5  |
| Kuivapaino, t/ha                  | 2.7  |
| Puupitoisuus, %                   | 87   |
| Runkomenetelmällä                 |      |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 31.7 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 22.8 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 11.0 |
| Puupitoisuus, %                   | 86   |
| Kokopuuhakkeena lehdetä           |      |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 38.3 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 27.5 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 13.5 |
| Puupitoisuus, %                   | 80   |

## 8.2. Suomännikön avohakkuu

### Ongelman tausta

Rämeyden luontainen mäntypuusto on usein harvaa ja pienikokoista. Puut ovat lyhyitä, voimakkaasti kapenevia ja jäykkäoksaisia.

Sekä ojittamattomilla että ojitetuilla soilla esiintyy tapauksia, joissa pienikokoinen puusto on hakattava aukeaksi. Niinpä valtiovallan 1980-luvun tavoitteeksi asettama 20 milj. m<sup>3</sup>:n polttoturvetuotanto edellyttää yhteensä 20 000 suohehtaarin valmistamista jyrshinturpeen nostamisen vaatimaan kuntoon, jolloin myös puusto oksineen ja juurakkoineenkin on poistettava. Osa turvetuotantoalueista tullaan valitsemaan pienikokoista puustoa kasvavilta soilta.

Rämeyden korjuukustannukset ovat avohakkuutakin käytettäessä korkeat. Kapenevien ja oksikkaitten runkojen teko pinotavaraksi on miestyövaltaisista menetelmistä kallis, ja puitten pieni koko ja alhainen raaka-aine-

kertymä estävät monitoimikoneitten käytön. Vaikeutena on lisäksi suuri hukkapuun määrä.

Näin siis myös rämeyden esiintyminen korjuu-ongelmia, joita ratkaistaessa kokopuuhaketus näyttää tarjoavan varte-notettavan vaihtoehdon. Tehtävä ei kuitenkaan ole laajuudeltaan harmaaleppä- ja hieskoivukysymyksiin verrattava.

### Koeolot

Koe tehtiin Harvialassa ojittamattomalla rämeellä, joka hakattiin aukeaksi polttoturpeen noston aloittamiseksi. Kokopuuhaake toimitettiin voimalan polttoaineeksi.

Korjuu tapahtui maaliskuussa 1974, jolloin suolla oli puolen metrin paksuinen lumipeite. Tämä hidasti erityisesti moottorisahamiesten työskentelyä. Traktoreilla oli vaikeuksia kevätauringon pehmittämässä lumessa liikkuaan.

Kuten luonnontilaisilla rämeillä yleensäkin, runkoluku oli puuston kokoon nähden alhainen, vain 900 kpl/ha. Rinnankorkeuslähimpäältä oli keskimäärin 8.0 cm vaihdellen 2–19 cm:n välillä. Puut olivat voimakkaasti kapenevia, keskipituudeltaan vain 5.6 m. Rungon keskitilavuus ilman oksia oli 26 l ja koko puun neulasetkin mukaan lukien 39 l.

### Tutkitut korjuuketjut

Tutkimuksen kohteina oli kaksi korjuuketjuvaihtoehtoa: haketus ajouralta käsin palstalla ja haketus välivarastolla. Kummassakin tapauksessa puut kaadettiin moottorisahalla suunnatusti tyvet ajouraa kohti (kuva 28). Palstahaketusta varten kaatomiehet suorivat lähikäin sijainneet puut ainakin tyvipästä yhteen. Tämä todettiin myöhemmin turhaksi, kun PH-hakkuriprototyypin voima ei riittänyt käsittelemään useita mäntyjä samanaikaisesti. Ajourien väli, 12 m, osoittautui tarpeettoman kapeaksi.

Kun vetokoneena käytetyn Fiat 750-maaloustraktorin maastokelpoisuus ei ollut riittävä vetämään hakkuria koskemattomassa hängessä, poljettiin palstahaketusta varten urat telatraktorilla. Hakkurin säiliössä oli keskimäärin 11 i-m<sup>3</sup> eli 3.8 tonnia haketta. Kuorman pystyssä pysyttäminen oli upottavassa lumessa ajoittain vaikeata.





Kuva 28. Rämemännikön avohakkuu Harvialassa. Vasemmalla puut käsin kasattuina lähikuljetusta varten, oikealla puut vielä pystyssä.

*Figure 28. Clear-cutting of a pine swamp in Harviala. On the left, the trees are ready for the forest haulage, on the right the trees are still standing.*

Välivarastohaketusketjun lähikuljetuksessa kokeiltiin reellä varustettua Massey Ferguson 3305 maataloustraktoria ja Valmet Jehu 522 traktoria. Kokonaisten puitten kuljetus onnistui kummaltakin teknisesti. On kuitenkin otettava huomioon, että puitten keskipituus oli vain 5.6 m.

#### Työn tuotos

Suunnattu kaato ja suoriminen tapahtuivat moottorisahalla aikapalkalla. Työ oli paksun lumipeitteen vuoksi rasittavaa ja sen tuotos epätydyttävä. Käyttökelpoista raaka-ainetta tuhlaantui korkeisiin kantoihin. Miehen keskimääräinen päivätuotos oli lähinnä lumioloista johtuen peräti alhainen,  $3.6 \text{ k-m}^3$  runkopuuta eli  $5.3 \text{ k-m}^3$  kokopuuta. Tämä vastaa  $13.3 \text{ i-m}^3$  kokopuuhaketta.

Tasainen suomaasto oli kuljetuskalustolle eduksi. Kokonaisten puitten lähikuljetuksessa kuorman koko oli peräreellä ja puoliteloilta varustetulla Massey Ferguson 3305 maataloustraktorilla  $3.2 \text{ k-m}^3$  (2.8 tonnia) ja teloilla

varustetulla Valmet Jehu 522 traktorilla  $4.5 \text{ k-m}^3$  (3.9 tonnia). Tuotos oli 300 metrin matkalla vastaavasti  $3.0$  ja  $3.2 \text{ k-m}^3/\text{t}$ .

PH-prototyypin ajankäytön rakenne on esitetty taulukossa 4, jossa kuljetusmatkat on oletettu samoiksi kuin lepän korjuukokeissa. Kummassakin ketjussa oli ratkaiseva varsinainen haketusvaihe, jota hidasti rämemäntyjen tylppä oksakulma ja lyhyt runko.

Palstatiellä työskennellessään hakkuri käsiteli tunnissa  $2.2 \text{ k-m}^3$  tuottaen  $5.6 \text{ i-m}^3$  kokopuuhaketta. Välivarastohaketuksessa tuntituotos oli vastaavasti  $3.0 \text{ k-m}^3$  eli  $7.5 \text{ i-m}^3$ . PH-hakkuriprototyyppi soveltuu helppokulkuisessa maastossa parhaiten siis palstahakettuun. Sen käyttö palstalla edellytti kuitenkin ajourien aukaisemista teloilla varustetulla traktorilla.

Taulukko 5 kuvaa ihmistyön tuottavuutta Harvialan koesarjassa. Työnjohdon panos ei ole luvuissa mukana. Myöskään palstatiem polkemista ei ole otettu huomioon. Tuloksia tarkasteltaessa on pidettävä mielessä lumisuhteet, puuston pieni koko ja alhainen raaka-ainekertymä hehtaarilta.

Taulukko 4. PH-hakkuriprototyypin ajanmenekki rämemännyn kokopuuhaketuskokeissa.  
 Table 4. Time consumption of the PH chipper prototype in full-tree chipping of Scots pine in clear-cutting of a swamp.

| Työvaihe – Work phase                              | Kasaamattomien puitten haketus palstalla<br>Chipping of unbunched trees in terrain |     | Haketus varastolla<br>Chipping in landing site |     |
|--|--|-----|--|-----|
|  | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose cu.m   | %   | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose cu.m       | %   |
| Siirtyminen työmaalle – Moving to work site        | 50   | 5   | 27   | 4   |
| Haketus – Chipping                                 | 763  | 79  | 627  | 86  |
| Siirtyminen haketuksessa – Moving during chipping  | 54   | 6   | –  | –   |
| Siirtyminen vaihtolavan luo – Moving for unloading | 51   | 5   | 40   | 5   |
| Kuorman purkaminen – Unloading                     | 52   | 5   | 37   | 5   |
| Teho aika – Productive time                        | 970  | 100 | 731  | 100 |
| Keskeytykset – Breaks                              | 97   | 10  | 73   | 10  |
| Yhteensä – Total                                   | 1067   |     | 804  |     |

Taulukko 5. Ihmistyön tuottavuus suomännyn kokopuuhaketuskokeissa.  
 Table 5. The productivity of human labour in full-tree harvesting of Scots pine in a swamp. Forest haulage distance 300 m. Average tree size 39 litres, including branches.

| Työvaihe – Work phase  | Esikasattujen puitten haketus palstalla<br>Chipping of bunched trees in terrain | Haketus varastolla<br>Chipping in landing site |
|--|---|--|
|  | Miespäiviä/k-m <sup>3</sup> – Man-days/solid cu.m                               |  |
| Kaato ja suoriminen – Felling and bunching                       | 0.188   | 0.188  |
| Lähikuljetus kokopuuna – Transport of full trees                 | –   | 0.040  |
| Haketus – Chipping   | 0.050   | 0.038  |
| Hakkeen kuljetus vaihtolavalle – Transport of chips to container | 0.005   | 0.005  |
| Yhteensä – Total   | 0.243   | 0.271  |
|  | Miespäiviä/i-m <sup>3</sup> – Man-days/loose cu.m                               |  |
| Yhteensä – Total   | 0.097   | 0.108  |
|  | Miespäiviä/kuivattonni – Man-days/dry ton                                       |  |
| Yhteensä – Total   | 0.622   | 0.692  |

Talteen saatu biomassa kaksinkertaistui kokopuuhaketuksen ansiosta tavaralajimenetelmään verrattuna. Tämä ei kuitenkaan merkitse itse puuaineen määrän kaksinkertaistumista, sillä oksien mukaantulo muutti raaka-aineen koostumusta. Asetelma osoittaa teoreettisen raaka-ainekertymän eri vaihtoehtoissa.

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Tavaralajimenetelmällä (6 cm/2 m) |      |
| Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha      | 13.9 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 12.1 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 6.2  |
| Puupitoisuus, %                   | 85   |
| Runkomenetelmällä                 |      |
| Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha      | 19.9 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 17.3 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 8.9  |
| Puupitoisuus, %                   | 83   |
| Kokopuuhakkeena neulasineen       |      |
| Tilavuus, m <sup>3</sup> /ha      | 29.7 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 25.8 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 13.2 |
| Puupitoisuus, %                   | 71   |

### 8.3. Suokoivikon avohakkuu

#### Ongelman tausta

Suuria suoaloja on hieskoivun hallussa. Rämellä hieskoivu jää pienikokoiseksi eikä saavuta vaneripuun mittoja. Kuitupuunakin se on vain korkein kustannuksin talteen otettavissa, ja hukkapuun osuus on suuri.

Hieskoivikot keskittyvät erityisesti Pohjanmaan alueelle, ja niiden kokonaispinta-ala ylittää neljännesmiljoona hehtaaria. Ojitus toiminnan edistyessä hieskoivikoita syntyy lisää.

Metsänhoidollisena tavoitteena on yleensä puulajin vaihto. Kuitenkin myös kuituraaka-aineen tuottaminen kasvattamalla hieskoivua lyhyen kiertoajan puitteissa saattaa tulla kysymykseen. Kummassakin vaihtoehdossa voidaan käyttää avohakkuun suomia korjuuteknisiä etuja. Esiintyy myös tapauksia, joissa hieskoivua kasvava suo halutaan raivata pelloksi tai valjastaa polttoturpeen tuotantoon.

Korjuukoe tapahtui maaliskuussa 1974 Harvialassa. Koeala oli ojittamaton räme, joka raivattiin polttoturpeen tuotannolle. Kokopuuhake käytettiin furfuraalin raaka-aineeksi.

Suota peitti heikosti kantava puolen metrin vahvuinen lumikerros. Suojainen lumi vaikeutti kaatomiesten työskentelyä ja traktorien liikkumista.

Talteen otettuja puita oli 1900 kpl/ha. Rinnankorkeusläpimitta oli keskimäärin 6.6 cm vaihdellen välillä 2 – 20 cm. Puut olivat runkomuodoltaan verraten hoikkia, keskipituudeltaan 7.4 m. Rungon keskitilavuus oksitta oli 20 litraa, koko puun lehdettömine oksineen vastaavasti 28 l.

#### Tutkittu korjuuketju

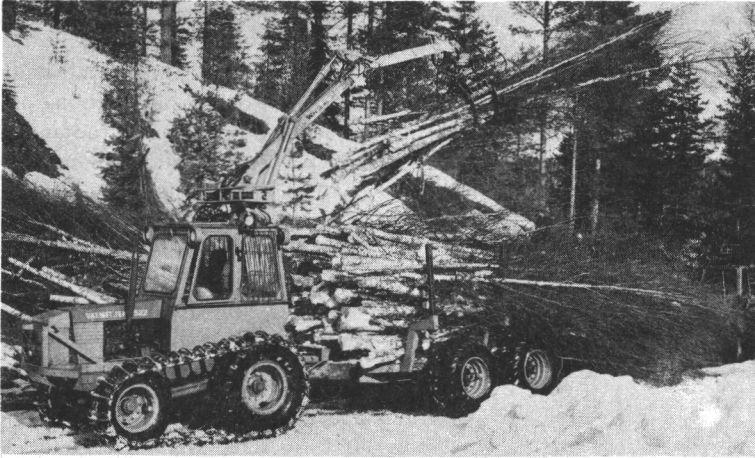
Lumiolot vaikeuttivat PH-hakkuriprototyypin liikkumista siinä määrin, että koe rajoitettiin yksinomaan välivarastohaketukseen. Korjuuketju ja kalusto olivat samat kuin rämemmän välivarastohaketuksessa.

#### Työn tuotos

Kaatotyön päivätuotos jäi epäsuotuisten lumiolojen vuoksi vaatimattomaksi, vain 3.8 k-m<sup>3</sup> iin runkopuuta eli oksien tilavuus mukaan luettuna 5.3 k-m<sup>3</sup> iin. Lehdettömänä kokopuuhakkeena se vastasi 13.3 i-m<sup>3</sup>.

Kokonaisten puitten lähikuljetus ei tuottanut teknisiä vaikeuksia tasaisessa suomaastossa. Valmet Jehu 522 traktorin kuorman koko oli keskimäärin 4.5 k-m<sup>3</sup> (3.5 tonnia) ja Massey Ferguson 3305 traktorin 3.2 k-m<sup>3</sup> (2.5 tonnia) kokopuuta (kuvat 29 ja 30). Tuntituotokset olivat vastaavasti 3.2 ja 3.0 k-m<sup>3</sup> kokopuuta 300 metrin ajomatalla (kuva 32).

Kokopuuhakkurin ajankäytön jakaantuminen eri työvaiheisiin on esitetty taulukossa 6. Suomäntyyn verrattuna hieskoivun välivarastohaketus onnistui hyvin. Koivun parempi tulos aiheutui pääosaksi pienemmistä ja notkeammin runkoa myötäilevistä oksista sekä pitemmästä rungosta. Hakkuri käsitteli tunnissa 4.3 k-m<sup>3</sup> puuta, josta kertyi 10.8 i-m<sup>3</sup> kokopuuhaketta.



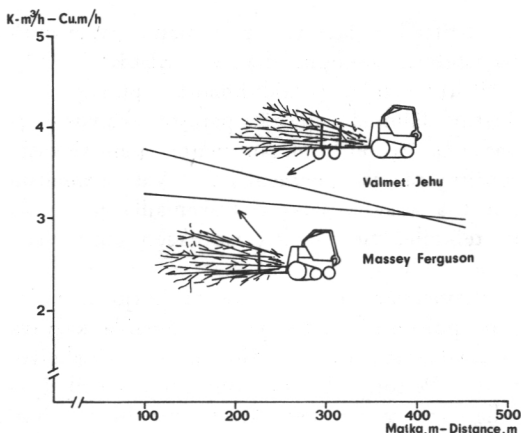
Kuva 29. Valmet Jehu 522 traktori kokopuunkuljetuksessa Harvialassa. Purkaminen välivarastolla.  
*Figure 29. The Valmet Jehu 522 tractor in full-tree transport in Harviala. Unloading at the landing site.*



Kuva 30. Massey Ferguson 3305 traktori kokopuunkuljetuksessa Harvialassa.  
*Figure 30. The Massey Ferguson 3305 tractor in full-tree transportation in Harviala.*



Kuva 31. Lokomo 925 kuormatraktori kokopuunkuljetuksessa Keuruulla.  
*Figure 31. The Lokomo 925 forwarder in full-tree transportation in Keuruu.*



Kuva 32. Työn tuotos kokonaisten koivujen lähikuljetuksessa Harvialassa. Valmet Jehu 522 ja Massey Ferguson 3305 traktorit.  
 Figure 32. The output in forest haulage of full birch trees in Harviala. Valmet Jehu 522 and Massey Ferguson 3305 tractors.

Ihmistyön tuottavuus nähdään taulukosta 7. Työpanos jäi pienemmäksi kuin rämemännikön ja harmaalepikön välivarastohaketusketjussa.

Taulukko 7. Ihmistyön tuottavuus hieskoivun kokopuuhaketuskoeksissa.  
 Table 7. Productivity of human labour in full-tree harvesting of white birch in a swamp. Forest haulage distance 300 m. Average tree size 28 litres, including branches.

| Työvaihe<br>Work phase  | Haketus varastolla<br>Chipping in landing site     |
|---|--|
|   | Miespäiviä/k-m <sup>3</sup><br>Man-days/loose cu.m |
| Kaato ja suoriminen<br>Felling and bunching                         | 0.188  |
| Lähikuljetus kokopuuna<br>Transport of full trees                   | 0.040  |
| Haketus ja vaihtolavan kuormaus - Chipping and loading of container | 0.030  |
| Yhteensä - Total  | 0.258  |
|   | Miespäiviä/i-m <sup>3</sup><br>Man-days/loose cu.m |
| Yhteensä - Total  | 0.103  |
|   | Miestyöpäiviä/kui-<br>vatonni<br>Man-days/dry ton  |
| Yhteensä - Total  | 0.573  |

Taulukko 6. PH-hakkuriprototyypin ajanmenekki hieskoivun kokopuuhaketuskoeksissa.  
 Table 6. Time consumption of the PH chipper prototype in full-tree chipping of white birch in clear-cutting of a swamp.

| Työvaihe<br>Work phase                              | Haketus varastolla<br>Chipping in landing site |     |
|---|--|-----|
|   | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose cu.m       | %   |
| Siirtyminen työmaalle<br>Moving to work site        | 17   | 3   |
| Haketus siirtymisineen<br>Chipping                  | 452  | 90  |
| Siirtyminen vaihtolavan luo<br>Moving for unloading | 22   | 4   |
| Kuorman purkaminen<br>Unloading                     | 13   | 3   |
| Teho aika<br>Productive time                        | 504  | 100 |
| Keskeytykset<br>Breaks                              | 50   | 10  |
| Yhteensä - Total                                    | 554  |     |

### R a a k a - a i n e k e r t y m ä

Kokopuuhaketusmenetelmän teoreettinen raaka-ainekertymä oli tavaralajimenetelmään nähden kolminkertainen. Talteen saadun biomassan puupitoisuus kuitenkin alentui samalla.

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Tavaralajimenetelmällä (7 cm/2 m) |      |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 16.9 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 13.2 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 5.9  |
| Puupitoisuus, %                   | 84   |
| Runkomenetelmällä                 |      |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 34.8 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 27.2 |
| Kuivapaino, t/ha                  | 12.1 |
| Puupitoisuus, %                   | 82   |

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Kokopuuhakkeena lehdittä       |      |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha | 48.9 |
| Tuorepaino, t/ha               | 38.3 |
| Kuivapaino, t/ha               | 17.0 |
| Puupitoisuus, %                | 74   |

#### 8.4. Pellonpiennarpensaikon avohakkuu

##### Ongelman tausta

Puuraaka-ainetta sijaitsee myös sellaisilla aloilla, jotka valtakunnan metsien inventoinnissa luokitellaan muuhun kuin metsätalousmaahan kuuluviksi. Tällaisia ovat ennen kaikkea heitteille jätetyt pellot, joitten pientareet ja ojanvarret metsittyvät nopeasti viljelyn päätyttyä. Usein niihin liittyy osittain metsittyneitä, puustoltaan repaleisia laidunmaita.

Esimerkiksi pellonvarauspöytäkirjojen pohjalta syntyneiden metsittämättömien pakettipeltojen ala on yli 200 000 ha. Vähintään yhtä paljon

on heitteille jätettyjä peltomaita paketoitijärjestelmän ulkopuolella (vrt. SELBY 1974).

Peltoheittojen ja laidunmaitten puusto muodostuu lähinnä lepästä, pajusta, koivusta ja haavasta. Se on kooltaan pientä, usein vesoista syntynyttä ja pensasmaista. Vastaavanlaista puustoa kasvaa paikoin tulvamailla ja muilla kosteikoilla, tienvarsilla, asutuksen tuntumassa j.n.e.

Perinteisen puunkäyttö- ja korjuuteknologian puitteissa pelto- ja laidunmailla kasvava puuraaka-aine on pääosiltaan markkinakelvotonta. Peltojen kunnostaminen maanviljelykselle, ojien avaaminen, kulttuurimaiseman hoito tai metsänviljely edellyttävät kuitenkin monissa tapauksissa, että heikkolaatuinen puusto poistetaan avohakkuuta käyttäen.

##### Koeolot

Pellonpiennarpensaikon avohakkuu suoritettiin kesällä 1974 Pertunmaalla 11 vuotta viljele-

Taulukko 8. PH-hakkuriprototyypin ajanmenekki pellonpiennarpensaikon kokopuuhaketuskokeessa. Table 8. Time consumption of the PH chipper prototype in full-tree chipping of small-sized mixed hardwoods on abandoned farm land.

| Työvaihe<br>Work phase                              | Kokopuuta k-m <sup>3</sup> /100 ojаметria – Full-tree material, solid cu.m./100 m of ditch |     |  |     |  |     |
|---|--|-----|--|-----|--|-----|
|   | 3.8  |     | 7.4  |     | 11.0   |     |
|   | Ajanmenekki – Time consumption   |     |  |     |  |     |
|   | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose<br>cu.m.   | %   | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose<br>cu.m. | %   | cmin/i-m <sup>3</sup><br>cmin/loose<br>cu.m. | %   |
| Siirtyminen työmaalle<br>Moving to work site        | 59   | 5   | 59   | 7   | 59   | 8   |
| Haketus – Chipping                                  | 815  | 73  | 575  | 70  | 499  | 70  |
| Siirtyminen haketuksessa<br>Moving during chipping  | 108  | 10  | 60   | 7   | 30   | 4   |
| Siirtyminen vaihtolavan luo<br>Moving for unloading | 61   | 6   | 61   | 8   | 61   | 9   |
| Kuorman purkaminen<br>Unloading                     | 68   | 6   | 68   | 8   | 68   | 9   |
| Teho aika<br>Productive time                        | 1111   | 100 | 823  | 100 | 717  | 100 |
| Keskeytykset<br>Breaks                              | 111  |     | 82   |     | 72   |     |
| Yhteensä – Total                                    | 1222   |     | 905  |     | 789  |     |

mättä olleella tilalla, jonka pellonojien varsille oli noussut paikoitellen sakea pensaikko. Paju oli alueella yleisin puulaji. Lisäksi esiintyi leppää, koivua ja pihlajaa. Kokopuuhaake käytettiin kuitulevyn raaka-aineeksi.

Puusto oli pellolla ojen molemmin puolin sakeana kasvustona yhteensä noin 3 metrin leveydellä. Sadan ojametrin matkalla oli kokopuuta 3.8–11.0 k-m<sup>3</sup>. Puiden rinnankorkeusläpimitta oli keskimäärin 2.3 cm ja keskipituus 4.0 m. Puun keskitilavuus ilman oksia oli 1.1 litraa sekä oksineen ja lehtineen vastaavasti 1.8 litraa.

### Tutkittu korjuuketju

Tutkimus rajoittui palstahakemukseen. Puut kaadettiin suunnatusti moottorisahalla. Hakkuumiehet kokosivat puut ainakin tyvipään osalta nippuihin kohtisuoraan ojan suuntaa vastaan. Hakhuri kulki ojanpientareta pitkin hakettaen puut säiliönsä.

### Työn tuotos

Kaato tapahtui aikapalkalla. Päivätuotos oli keskimäärin 4.0 k-m<sup>3</sup> runkopuuta ja oksat mukaan lukein 6.3 k-m<sup>3</sup> kokopuuta. Hakkeeksi muunnettuna tämä vastasi 15.7 i-m<sup>3</sup>.

Haketuksen ajanmenekki lähikuljetusmatkan ollessa 300 metriä on esitetty taulukossa 8. Ajanmenekki riippui oleellisesti ojanpientareella olevan puuston määrästä.

Hakkuri käsitteli tunnissa lähikuljetus mukaan luettuna 2.0–3.0 k-m<sup>3</sup> puuta. Tästä saatiin kokopuuhaaketta 4.9–7.6 i-m<sup>3</sup>.

Ihmistyön tuottavuus pelloimpiennarpensaikon avohakkuussa on esitetty taulukossa 9. Laskelman lähtökohtana on koetyömaan keskimääräinen tapaus, jossa puuston määrä on oksat mukaan luettuina 7.4 k-m<sup>3</sup> sataa ojametriä kohti.

### Raaka-ainekertymä

Koetyömaan pelloimpiennarpensaikon korjuu ei olisi ollut mahdollista muulla menetelmällä kuin kokopuuhaaketuksella. Sitä käytettäessä oli raaka-ainekertymä kuitenkin huomattava. Raaka-aineen puupitoisuutta ei mitattu, eikä sitä perustietojen puutteellisuuden vuoksi voida

Taulukko 9. Ihmistyön tuottavuus pelloimpiennarpensaikon kokopuuhaaketuskokeissa.

Table 9. The productivity of human labour in full-tree harvesting of small-sized mixed hardwoods on abandoned farm land. Forest haulage distance 300 m. Average tree size 1.8 litres, including branches.

| Työvaihe<br>Work phase   | Esikasattujen<br>puitten haketus<br>palstalla<br>Chipping of<br>bunched trees<br>in terrain |
|--|---|
|  | Miespäiviä/k-m <sup>3</sup><br>Man-days/solid<br>cu.m.                                      |
| Kaato ja kasaus<br>Felling and bunching                          | 0.159   |
| Haketus – Chipping   | 0.042   |
| Hakkeen kuljetus vaihtolavalle – Transport of chips to container | 0.006   |
| Yhteensä – Total   | 0.207   |
|  | Miespäiviä/i-m <sup>3</sup><br>Man-days/loose<br>cu.m.                                      |
| Yhteensä – Total   | 0.083   |
|  | Miespäiviä/kuivatonni<br>Man-days/dry ton   |
| Yhteensä – Total   | 0.530   |

arvioida myöskään muitten tutkimusten perusteella. Kokopuuhaakkeen kertymä oli seuraava:

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha | 32.1 |
| Tuorepaino, t/ha               | 23.0 |
| Kuivapaino, t/ha               | 13.4 |

### 8.5. Männikön ensiharvennus

#### Ongelman tausta

Taimistojen perkaus- ja raivaustöitten toteuttaminen on lähinnä työvoimavajauksen vuoksi jäänyt asetetuista tavoitteista jälkeen. Tällä hetkellä meillä on runsaasti karanneita taimistoja, jotka metsänhoidollisten periaatteitten mukaan olisi tullut käsitellä jo useita vuosia sitten mutta joissa nämä runsaasti ihmistyötä vaativat, tuloa tuottamattomat toimenpiteet ovat uhkaavasti lykkääntyneet.

Markkinakelpoinen ensiharvennuspuu sen sijaan on meidän oloissamme vielä korjattavissa. Mutta esimerkiksi Ruotsissa työvoimavajaus ja ihmistyön kustannusten nousu ovat nähtävissä jo ensiharvennusleimikoittenkin hakkuitten viivästyksenä tai jopa niistä luopumisena.

Kokopuuna korjuu on eräs ratkaisuvaihtoehto taimistojen ja ensiharvennussien ongelmaan. Sen pohjalta saattaa tulla kysymykseen myös varttuneen taimiston käsittelyn lievä viivyttäminen siten, että pienpuuston poistaminen muuttuu tuloa tuottavaksi toimenpiteeksi kokopuuhaketuksen avulla.

## Koe o l o t

Koe tehtiin syksyllä 1974 Keuruulla 30–40 vuotiaassa VT-kankaan ensiharvennusmännikössä, jossa riukuvaiheen käsittely oli jäänyt tekemättä. Kokopuuhaake toimitettiin lastulevyn keskikerroksen raaka-aineeksi.

Harvennuksessa poistettiin eri palstoilta 1500–3100 runkoa hehtaarilta, jolloin jäljelle jäi vielä 1200–2500 runkoa hehtaarille. Korjattujen puitten rinnankorkeuslähimittana oli 3–11 cm, keskimäärin 7.1 cm. Puut olivat riukumaisen hoikkia, keskipituudeltaan 10 m. Rungon keskitilavuus ilman oksia oli 29 litraa ja kokonaistilavuus oksineen ja neulasineen 34 litraa.

## Tutkitut korjuuketjut

Tutkimuksen kohteena olivat palstahaketus ja välivarastohaketus (kuva 27 c ja d). Kummassakin ketjussa kaadon ja kasauksen teki kahden miehen työryhmä. Toinen miehistä sahasi puun poikki, ja toinen kasasi kokonaiset puut palstatiin tuntumaan kohtisuoraan traktorin kulkusuuntaan nähden ja auttoi tarvittaessa puun suuntaamisessa. Välivarastohaketusmenetelmässä pisimmät puut oli lisäksi katkaistava kahteen osaan, koska lähikuljetus tapahtui kuormatraktorilla (kuva 31).

Ajouraväli oli 15–30 metriä. Kokonaisten puitten kuljetuksessa välivarastolle käytettiin vakiovarusteista Lokomo 925 kuormatraktoria.

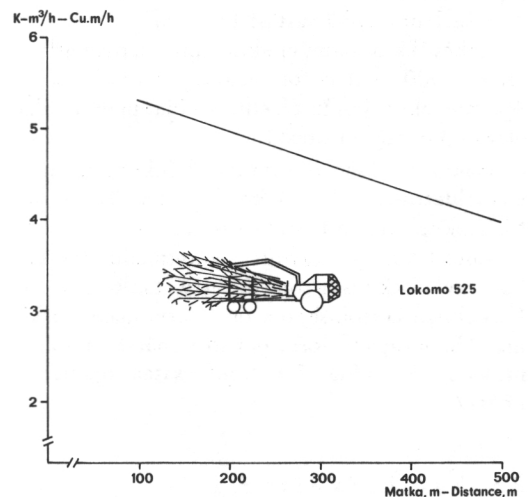
Harvennuspuun korjuun ydinongelmana on jäljelle jäävän puuston vaurioituminen. Palstahaketuksessa PH-hakkuriprototyyppi aiheutti hehtaaria kohti keskimäärin 77 vauriota. Yli

puolella tapauksista kolhiutuman syynä oli hakesäiliö, ja loput vauriot syntyivät kourakuormaimen tai syöttölaitteen vaikutuksesta. Välivarastomenetelmässä syntyivät vauriot, keskimäärin 119 kappaletta hehtaarille, kokonaisia puuta kuljetettaessa. Pääasiallinen vaurion aiheuttaja oli tuolloin traktori kuormineen, mutta myös kourakuormain tuotti vaurioita.

## Työn tuotos

Kaadon ja kasaamisen suoritti kahden miehen työryhmä. Kokonaisten puitten siirtely oli raskas työvaihe, jota pyrittiin lieventämään vuorottelulla. Työn tuotos oli palstahaketusketjussa 15 metrin palstatievälillä 21.1 k-m<sup>3</sup> runkopuuta eli 25.0 k-m<sup>3</sup> kokopuuta miestyöpäivää kohti. Tämä vastaa hakkeena 62.5 i-m<sup>3</sup>. Välivarastoketjussa, jossa palstatieväli oli 30 m ja osa puista katkaistiin kahteen osaan, olivat tuotokset vastaavasti 15.9 ja 18.8 k-m<sup>3</sup> eli hakkeena 46.9 i-m<sup>3</sup>.

Kokonaisten puitten kuljetuksessa keskimääräinen kuorman koko oli oksineen 4.5 k-m<sup>3</sup> (3.9 tonnia). Kuljetuksen tuotos oli 300 metrin matkalla 4.6 k-m<sup>3</sup>/t (kuva 33). Vertailuna todettakoon, että keskikokoisen kuormatrakto-



Kuva 33. Työn tuotos kokonaisten mäntyjen lähikuljetuksessa harvennusleimikossa Keuruulla. Lokomo 925 kuormatraktori.

Figure 33. The output in forest haulage of full pine trees in thinning conditions in Keuruu. Lokomo 925 forwarder.



Taulukko 10. PH-hakkuriprototyypin ajanmenekki ensiharvennumännyn kokopuuhaketuskokeissa.  
 Table 10. Time consumption of the PH chipper prototype in full-tree chipping of Scots pine in thinning conditions.

| Työvaihe<br>Work phase                             | Palstahaketus<br>Chipping in terrain     |     | Välivarastohaketus<br>Chipping in landing site |     |
|--|--|-----|--|-----|
|  | Cmin/i-m <sup>3</sup><br>Cmin/loose cu.m | %   | Cmin/i-m <sup>3</sup><br>Cmin/loose cu.m       | %   |
| Siirtyminen työmaalle – Moving to work site        | 76                                       | 11  | 7  | 2   |
| Haketus – Chipping                                 | 424                                      | 58  | 307  | 82  |
| Siirtyminen haketuksessa – Moving during chipping  | 103                                      | 14  | –  | –   |
| Siirtyminen vaihtolavan luo – Moving for unloading | 74                                       | 10  | 8  | 2   |
| Kuorman purkaminen – Unloading                     | 48                                       | 7   | 52   | 14  |
| Tehoaika – Productive time                         | 725                                      | 100 | 374  | 100 |
| Keskeytykset – Breaks                              | 73                                       | 10  | 37   | 10  |
| Yhteensä – Total                                   | 798                                      |     | 411  |     |

Taulukko 11. Ihmistyön tuottavuus ensiharvennumännyn kokopuuhaketuskokeissa.  
 Table 11. The productivity of human labour in full-tree harvesting of small-sized Scots pine in thinning conditions. Forest haulage distance 300 m. Average tree size 34 litres, including branches.

| Työvaihe<br>Work phase   | Esikasattujen<br>puitten haketus<br>palstalla<br>Chipping of<br>bunched trees<br>in terrain | Haketus<br>varastolla<br>Chipping in<br>landing<br>site |
|--|---|---|
|  | Miestyöpäiviä/k-m <sup>3</sup><br>Man-days/solid cu.m                                       |   |
| Kaato ja kasaus – Felling and bunching                           | 0.040   | 0.052   |
| Lähikuljetus kokopuuna – Transport of full trees                 | –   | 0.027   |
| Haketus – Chipping   | 0.025   | 0.021   |
| Hakkeen kuljetus vaihtolavalle – Transport of chips to container | 0.017   | 0.001   |
| Yhteensä – Total   | 0.082   | 0.101   |
|  | Miestyöpäiviä/i-m <sup>3</sup><br>Man-days/loose cu.m                                       |   |
| Yhteensä – Total   | 0.033   | 0.040   |
|  | Miestyöpäiviä/kuivattonni<br>Man-days/dry ton   |   |
| Yhteensä – Total   | 0.205   | 0.252   |

rin kuorman keskimääräinen koko on kolmetrisellä kuitupuulla 6.0 k-m<sup>3</sup> ja tuotos vastaavissa oloissa 12.1 k-m<sup>3</sup> (KAHALA 1974). Alhainen tuntituotos ei siis aiheutunut niinkään kuorman pienestä koosta vaan pikemminkin kuormausvaiheen hitaudesta.

PH-hakkuriprototyypin ajankäytön rakenne on esitetty taulukossa 10. Kuljetusmatkat ovat samat kuin muissa korjuukokeissa vastaavasti.

Hakkuri käsitteli palstahaketuksessa tunnissa 3.0 k-m<sup>3</sup> kokopuuta tuottaen haketta vastaavasti 7.5 i-m<sup>3</sup>, kun kuljetusmatka oli 300 m. Välivarastohaketuksessa tuntituotos oli 5.8 k-m<sup>3</sup> eli 14.6 i-m<sup>3</sup>.

Vertailuna mainittakoon norjalaisen tutkimuksen tulokset 32-vuotiaan istutuskuusikon ensiharvennuksesta, jossa Karhula 312 C-väli-varastohakkurin tuotos oli 10.6 i-m<sup>3</sup> työmaantuntia kohti. Hakkurin voimakoneena oli 130 hv:n maataloustraktori ja erillisenä syöttökoneena 75 hv:n maataloustraktori. ABC 1000 M-palstahakkurin tuotos 200 m:n ajomatalla oli vastaavasti 3.1 i-m<sup>3</sup> työmaantuntia kohti (DANIELSEN 1975).

Taulukossa 11 on esitetty ihmistyön tuottavuus ensiharvennumännikön korjuussa. Työnjohdon osuus ei ole luvuissa mukana.

## R a a k a - a i n e k e r t y m ä

Talteen saadun biomassan määrä kaksinkertaistui tavaralajimenetelmään verrattuna kokopuuhaketuksen ansiosta. Biomassan koostumus toisaalta muuttui epäedulliseen suuntaan. Kokopuuhaketuksessa varisi kuitenkin osa oksankärjistä maahan, niin että raaka-ainekertymä jäi todellisuudessa jonkin verran teoreettista pienemmäksi.

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Tavaralajimenetelmällä (6 cm/2 m) |       |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 55.6  |
| Tuorepaino, t/ha                  | 46.8  |
| Kuivapaino, t/ha                  | 20.8  |
| Puupitoisuus, %                   | 86    |
| Runkomenetelmällä                 |       |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 86.4  |
| Tuorepaino, t/ha                  | 72.8  |
| Kuivapaino, t/ha                  | 32.4  |
| Puupitoisuus, %                   | 84    |
| Kokopuuhakkeena neulasineen       |       |
| Tilavuus, k-m <sup>3</sup> /ha    | 102.5 |
| Tuorepaino, t/ha                  | 86.3  |

|                  |      |
|------------------|------|
| Kuivapaino, t/ha | 38.4 |
| Puupitoisuus, %  | 75   |

## 8.6. Kaukokuljetus

Kokopuuraaka-aineen kaukokuljetus tapahtuu joko karsimattomina puina tai hakkeena. Edellinen vaihtoehto liittyy ala- ja tehdasvarastohaketukseen.

Sekä kokonaisten puitten että kokopuuhakkeen kuljetus rajoittunee alkuvaiheessa kustannussyistä käyttöpisteitten ympäristöön verraten suppealle alueelle, enintään 100 km:n toimintasäteelle. Kokopuunkäytön yleistyessä hankinta-alueet kuitenkin laajenevat, niin että esimerkiksi Yhdysvalloissa ovat pisimmät kokopuuhakkeen kuljetusmatkat jo yli 150 km.

Mainituista syistä näyttää meillä ensimmäisessä vaiheessa tulevan kysymykseen vain autokuljetus, jota tässäkin luvussa yksinomaisesti tarkastellaan. Ei voida kuitenkaan kokonaan sulkea pois hakkeen rautatiekuljetusta eikä myöskään vesitiekuljetusta aluksilla tai vaikkapa säkeissä uittaen. Myös putkikuljetus on varteenotettava mahdollisuus. Mainittakoon, että Pohjois-Amerikan länsirannikolta toimitetaan kokopuuhaketta haketankkereilla Japaniin.

### 8.6.1. Kokonaisten puitten autokuljetus

Puitten kuljettaminen kokonaisina alavarsastolle tai tehtaalle mahdollistaa haketuksen keskittämisen, jolloin työ voidaan tehdä tehokkailla kiinteillä hakkureilla. Haketusasemaan voidaan yhdistää myös lajittelulaitos. Vapaudutaan hakkureiden siirto-ongelmista, ja ennen kaikkea vältetään metsähaketusetjun heikko lenkki – eri työvaiheitten yhteensovittamisen vaikeus. Myös hakkeen säilymisongelmat helppottuvat.

Kokonaisten puitten autokuljetuksen taloutta rasittaa kuitenkin kuormatilän käytön tehotomuus. Vakiorakenteisen kaluston painokapasiteettia on vaikea hyödyntää tehokkaasti, ja lainsäädäntö asettaa rajat lavarakenteitten suurentamiselle. Seuraava asetelma osoittaa vuonna 1975 voimaan tulleitten määräysten mukaisen suurimman sallitun hyötöpainon kuormakuutiometriä kohti puoliperävaunulla varustetun kuorma-auton akselirakenteesta riippuen, kun lava rakennetaan enimmäismittojen mukaisesti.

Enimmäiskoko



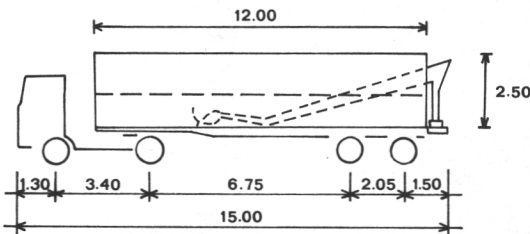
|  |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|
| Kokonaispaino, tn                              | 26    | 32    | 38    |
| Hyötykuorma, tn                                | 16–17 | 20–21 | 25–26 |
| Kuorman tilavuus, m <sup>3</sup> <sup>1)</sup> | 68    | 68    | 68    |
| Hyötykuorman paino, kg/m <sup>3</sup>          | 240   | 300   | 370   |

1) Kuormatilan enimmäismat mitat ovat: leveys sisäpuolella 2.36 m, korkeus 2.3 m ja pituus 12.5 m.

Kokonaisten puitten autokuljetuksen osalta nojaututaan norjalais-tanskalaiseen tutkimusarjaan, joka kohdistui rinnankorkeusläpimitaltaan 10–15 cm:n paksuisiin ensiharvennuskuisiin (BAKKEN 1973, BAKKEN ja WEFALD 1974). Kun puoliperävaunun kuormatilan pituus oli 13.0 m ja korkeus 2.1 m, päästiin tuoreilla puilla 160–170 kg:n kuutiometripainoon. Vastaava kuutiometripaino saavutettiin myös A. Ahlström Osakeyhtiössä kuusen kokopuukuljetuskokeessa.

Kokeen perusteella päädyttiin kuvan 34 mukaiseen ajoneuvosuositukseen, jonka katsottiin Norjan oloissa parhaiten soveltuvan pienikokoisen ensiharvennuspuun kokopuukuljetukseen. Kuormaimen sijoittaminen ajoneuvon takaosaan mahdollistaa kuormauksen laajalta säteeltä. Sivulaidat, jotka estävät oksia tunkeutumasta kuormatilan ulkopuolelle, ovat kaksiosaiset ja kokonaiskorkeudeltaan 2.5 m.

Kuvattu puoliperävaunu kykenee tutkimuksen mukaan ottamaan 11 tonnin kokopuukuorman. Tämä on oleellisesti vähemmän kuin uusien määräysten mahdollistamat hyötykuormat.



Kuva 34. Suositus pienten kokopuitten autokuljetuskalustosta (BAKKEN and WEFALD 1974).

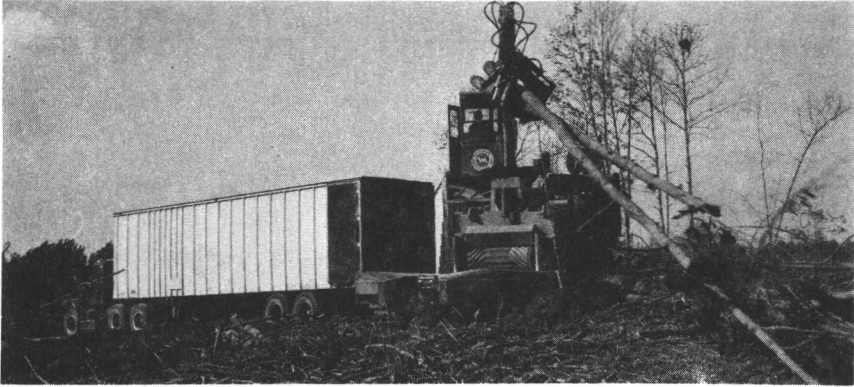
Figure 34. A recommendation for truck transportation equipment for small-sized full trees (BAKKEN and WEFALD 1974).

Oikealla mitoittamisella mahdollistetaan kevyitten ajoneuvojen kuljetuskapasiteetin täysi käyttö, mutta kokopuunkuljetuksessa ei voida ainakaan ilman erikoisjärjestelyjä käyttää tehokkaasti järeintä kuorma-autokalustoa. Eräs ratkaisumalli on kuormauksen ajaksi vinosti sivulle kallistettavat jäykät tai keskeltä nivelletyt sivupylväät, jotka kuorman täytyttyä käännetään takaisin pystyasentoonsa. Tanskassa on tämän periaatteen pohjalta tehdyissä kokeissa rinnankorkeusläpimitaltaan 10 cm:n kuusipuista tehdyn kuorman kuutiometripainon onnistuttu nostamaan 165 kilosta 258 kiloon eli 56 %:lla. Sivupylväitten suoristamiseen tarvittu vetovoima oli tuolloin 0.28 kilopondia kuorman kyljen neliösentiä kohti (MØLLER 1975, MØLLER ja BAKKEN 1975).

### 8.6.2. Hakkeen autokuljetus

Kokopuuraaka-aineen kuljetus hakkeena joutaa yleensä kuumaan korjuuketjuun, jossa hake määrä- ja laatutappioitten välttämiseksi johdetaan hakkurista suoraan kaukokuljetuslavalle. Haketuksen ja kaukokuljetuksen saumaton niveltäminen edellyttää tarkkaa suunnittelua ja valvontaa, sillä yhden työvaiheen ja koneen häiriöt pyrkivät heijastumaan koko korjuuketjuun.

Metsähakkeen autokuljetus perustuu Yhdysvalloissa miltei yksinomaisesti vaihdettaviin puoliperävaunuihin (kuva 35). Meidän oloihimme soveltuu myös esimerkiksi vaihtolavavarustein täysperävaunuyksikkö. Välivarastolla maahan pudotettava vaihtolava mahdollistaa kipattavalla hakesäiliöllä varustetun palstahakkurin käytön. Pyörien päälle jäävän vaihtolavan tärkeänä etuna taas on siirtelyn helppous välivarastohaketuksessa.



Kuva 35. Yhdysvalloissa hake puhalletaan suoraan puoliperävaunulla varustettuun kuorma-autoon. Morbark Model 75 Total Chiparvestor -kokopuu hakkuri.  
*Figure 35. The loading of chips directly into a semitrailer in the U.S.A. Morbark Model 75 Total Chiparvestor.*



Kuva 36. Hakkeen kuljetukseen tarkoitettu täysperävaunulla varustettu kuorma-auto, jonka molemmat vaihtolavat voidaan laskea maahan. Autolava Oy:n Multilift vaihtolavajärjestelmä.  
*Figure 36. A chip truck with trailer. Both chip containers can be detached to ground level. The Multilift system of Autolava Oy.*



Kuva 37. Vaihtolavan nostaminen.  
*Figure 37. Picking up a container.*

Taulukko 12. Esimerkkejä kokopuuhakkeen painosta ja painumasta.

Table 12. Examples of the weight of full-tree chips and the settling of chip loads during transportation.

| Kokopuu-<br>hakelaji<br>Type of<br>full-tree<br>chips | Kuljetus-<br>matka, km<br>Distance,<br>km | Kuorman koko, i-m <sup>3</sup><br>Load volume, loose cu.m |   | Paino, kg/i-m <sup>3</sup><br>Weight, kg/loose cu.m |   | Painuma, %<br>Settling of load, % |                                 |
|---|---|---|---|---|---|-----------------------------------|---------------------------------|
|   |   | Metsässä<br>Before<br>trans-<br>portation                 | Tehtaalla<br>After<br>trans-<br>portation | Metsässä<br>Before<br>trans-<br>portation           | Tehtaalla<br>After<br>trans-<br>portation | Veto-<br>autossa<br>In truck      | Perä-<br>vaunussa<br>In trailer |
| Lehdetön koivu<br>White birch without<br>leaves       | 200                                       | 55  | 50  | 320   | 348                                       | 5.3                               | 13.5                            |
| Ensiharvennusmänty<br>Pine from first<br>thinning     | 80  | 32  | 30  | 337   | 363                                       | 7.1                               | ..                              |
| Rämemänty<br>Pine from swamp                          | 200                                       | 55  | 53  | 354   | 369                                       | 4.1                               | 7.9                             |

Ylimääräiset vaihtolavat vähentävät haketuksen ja kuljetuksen yhteensovittamisen tarkkuusvaatimuksia. Lisälavojen käytön esteenä ovat kuitenkin siirtokustannukset, joten ne ovat tarkoituksenmukaisia vain suurilla työmailla. Haittaa voidaan lieventää kasettilavoilla, jotka kuljetetaan tyhjinä sisäkkäin. Vaihtolavajärjestelmän täydennyksenä voidaan ajatella myös hakeverkkojen tai -sakkien käyttämistä puskurivarastointiin tilanteissa, joissa vaihtolavan täytyminen muutoin pysäyttää hakkurin työskentelyn.

Käsillä olevan tutkimussarjan hakekuljetukset tapahtuivat eri kokeissa 80–200 km:n matkoilla vaihtolavoilla (kuvat 36 ja 37), joitten tilavuus oli 28–35 m<sup>3</sup> (taulukko 12). Kussakin tapauksessa oli kysymyksessä tuoreista puista PH-hakkuriprototyypillä tehty tavara, joka kuormattiin vaihtolavalle hakkurin säiliöstä kippaamalla.

Kuutiometripainot ovat lähes samansuuruiset kuin sahanhakkeella (vrt. UUSVAARA 1972). Vaihtelua aiheuttavat kosteus, puuaineen tiheys, palakokajakautuma, purujakeen osuus, lehdet ja neulas, pienoksat, kuormausmenetelmä sekä kuljetusolot.

Kokonaisista puista tehtyyn kuormaan verrattuna hakkeen kuutiometripaino on kaksinkertainen (vrt. BAKKEN ja WEFALD 1974). Kokopuuhakkeen paino on koivulla sen korkeammasta puuaineen tiheydestä huolimatta pienempi kuin männyllä. Koivun pienoksat aivan ilmeisesti alentavat haketiheyttä, kun taas

Taulukko 13. Eräitten puutavaralajien kuutiometripainoja autokuljetuksessa.

Table 13. Weight of some timber assortments in truck transport in kilograms per cu.m. of load space.

| Tavaralaji – Assortment                                  | Tuore-<br>paino<br>Green<br>weight                      | Kuiva-<br>ainetta<br>Dry-<br>matter |
|--|---|-------------------------------------|
|  | Kg/kuormatilan m <sup>3</sup><br>Kg/cu.m. of load space |                                     |
| Havukuitupuu – Softwood<br>pulpwood, 2 m <sup>1)</sup>   | 495   | 260                                 |
| Havukuitupuu – Softwood<br>pulpwood, 2–3 m <sup>1)</sup> | 410   | 215                                 |
| Koivukuitupuu – Birch<br>pulpwood, 2m <sup>1)</sup>      | 510   | 285                                 |
| Koivukuitupuu – Birch<br>pulpwood, 2–3 m <sup>1)</sup>   | 420   | 235                                 |
| Sahanhake – Saw mill chips <sup>2)</sup>                 | 365   | 165                                 |
| Sahanpuru – Saw dust <sup>3)</sup>                       | 320   | 155                                 |
| Kuusi kokopuuna – Full<br>spruce trees <sup>4)</sup>     | 165   | 80                                  |
| Männyn kokopuuhake – Full-<br>tree chips of pine         | 365   | 180                                 |
| Koivun kokopuuhake – Full-<br>tree chips of birch        | 350   | 180                                 |

1) = Hakkila 1973, 2) = Uusvaara 1972, 3) = Uusvaara 1974, 4) = Bakken ja Wefald 1974.

männnyllä neulaset näyttävät pikemminkin lisäävän sitä.

Kokopuuhaikkeessa kuljetuksen aikana tapahtuva painuma vastaa sahanhakkeen keskimääräisiä arvoja, jotka esimerkiksi 100 km:n matkalla ovat vetovaunussa 5 ja perävaunussa 7 % ja 200 km:n matkalla vastaavasti 6 ja 9 % (UUSVAARA 1972). Perävaunun suurempi painuma aiheutuu voimakkaammasta tärinästä.

Taulukko 13 antaa kuvan kokonaisten puitten ja kokopuuhaakkeen kuormatilan tarpeesta tavanomaiseen kuituteollisuuden raaka-aineeseen verrattuna. Jos kuoren ja neulasten paino

jätettäisiin lukuun ottamatta ja vertailu kohdistettaisiin vain puuaineeseen, asetelma muuttuisi kokopuuraaka-aineille edelleen epäedullisemmäksi.

Havupuisen kokopuuhaakkeen kuutiometri-paino on neljänneksen alhaisempi kuin kaksimetrisellä kuitupuulla. Sen sijaan 2–3 metrin hajapituiseen kuitupuuhun verrattuna kokopuuhaakkeen kuutiometri-paino jää jälkeen vain 10 %. Käytännössä eroa pienentää vielä hakkeen kyky täyttää kuorma lavan nimellismittojen mukaisesti.

## 9. LEHTIEN JA NEULASTEN ONGELMA

### 9.1. Viheraineen osuus kokopuuraaka-aineessa

Kokopuuhaake eroaa metsäteollisuuden perinteellisestä raaka-aineesta korkean kuorimäärän ja ennen kaikkea viheraineen osalta. Lehdet ja neulaset muuttavat massa-, levy- ja kemiallisen teollisuuden raaka-aineen prosessitekniisiä ominaisuuksia.

Viheraineen osuus kokopuuhaikkeessa riippuu voimakkaasti korjattavan puuston koosta, sillä puun kasvaessa neulasten ja lehtien suhteellinen osuus pienenee (kuvat 38 ja 39).

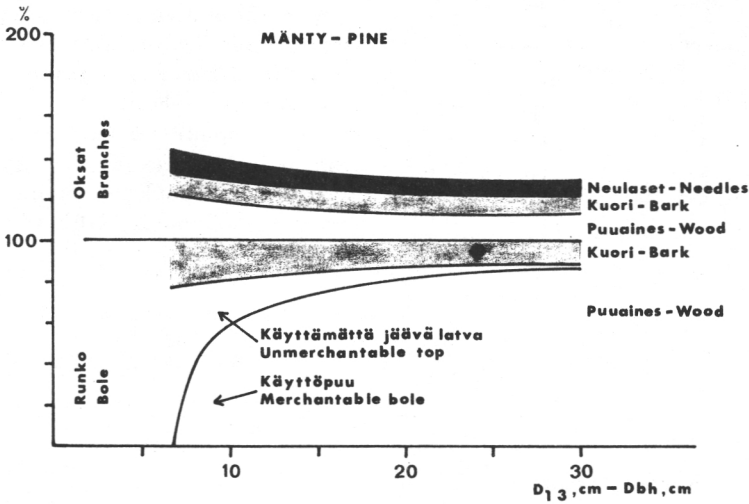
Viheraineen määrä vaihtelee myös metsikön sulkeutuneisuudesta, fysiologisesta tilasta ja vuodenajastakin riippuen. Mitä enemmän puulla on kasvutilaa käytettävissään, sitä voimakkaampi on sen lehvistö. Neulasten määrää kuvastaa puun koon ohella siten myös elävän latvuksen suhteellinen pituus, joka on verraten helposti silmävaraisesti määritettävissä esimerkiksi pystymittauksen yhteydessä (taulukko 14).

Männyn elävä latvus kattaa useimmissa Etelä-Suomen korjuukohteissa 40–60 ja kuusen vastaavasti 60–80 % puun koko pituudesta. Tämä

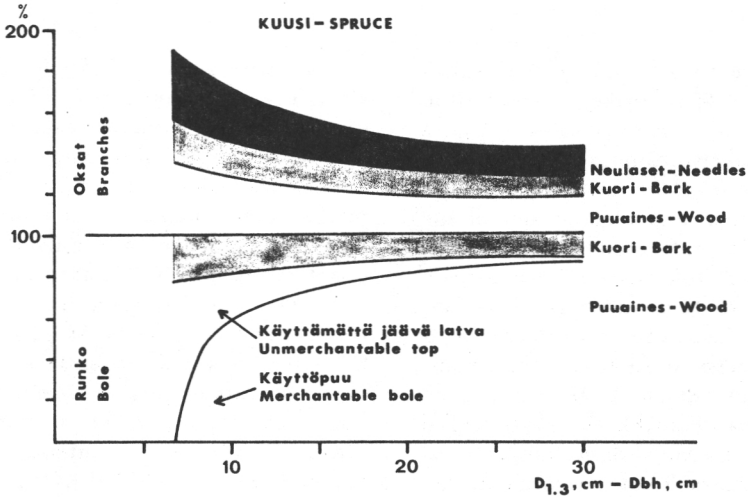
Taulukko 14. Neulasten osuus männyn ja kuusen maanpäällisen osan biomassasta Etelä- ja Pohjois-Suomessa puun rinnankorkeusläpimitasta ja latvuksen pituudesta riippuen (HAKKILA 1971).

Table 14. The proportion of needles in the above-ground biomass of Scots pine and Norway spruce in southern and northern Finland as a function of breast height diameter and crown ratio (HAKKILA 1971).

| D <sub>1.3</sub> , cm<br>Dbh, cm              | Etelä – South                        |       |       |      | Pohjoinen – North |       |      |
|---|--------------------------------------|-------|-------|------|-------------------|-------|------|
|   | Latvussuhde, % – Crown proportion, % |       |       |      |                   |       |      |
|   | 21–40                                | 41–60 | 61–80 | 81+  | 41–60             | 61–80 | 81+  |
| Neulasten osuus, % – Proportion of needles, % |                                      |       |       |      |                   |       |      |
| MÄNTY – PINE                                  |                                      |       |       |      |                   |       |      |
| – 10  | 5.0                                  | 5.7   | 9.7   |      | 8.7               |       |      |
| 11 – 15                                       | 4.8                                  | 6.2   | 8.5   |      | 6.5               |       |      |
| 16 – 20                                       | 3.4                                  | 6.2   | 8.0   |      | 4.7               |       |      |
| 21 – 25                                       | 3.4                                  | 4.7   | 9.5   |      | 4.6               |       |      |
| KUUSI – SPRUCE                                |                                      |       |       |      |                   |       |      |
| – 10  |                                      | 12.6  | 16.9  | 24.0 |                   | 14.6  | 23.0 |
| 11 – 15                                       |                                      | 10.8  | 13.2  | 19.0 |                   | 8.6   | 15.1 |
| 16 – 20                                       |                                      | 10.5  | 12.5  | 14.9 |                   | 8.1   | 11.2 |
| 21 – 25                                       |                                      |       | 11.5  | 10.8 |                   |       | 8.0  |



Kuva 38. Männyn kokopuuraaka-aineen koostumus.  
 Figure 38. Composition of full-tree material of Scots pine.



Kuva 39. Kuusen kokopuuraaka-aineen koostumus.  
 Figure 39. Composition of full-tree material of Norway spruce.

huomioon ottaen voidaan todeta, että kuusen kokopuuraaka-aineen neulasmäärä on Etelä-Suomen oloissa yli kaksinkertainen mäntyyn verrattuna. Niin kauan kuin neulasten erottaminen hakkeesta on tyydyttävästi ratkaisematta, on kuusen kokopuuhakkeen teollinen käyttö vaikeampaa kuin männyn. Kokopuunakorjuu olisi siis pyrittävä havupuitten osalta kohdistamaan

ensimmäisessä vaiheessa mäntyyn, mikäli metsien rakenne antaa siihen mahdollisuuden.

Taulukon 14 aineisto käy verraten hyvin yksin Norjassa tehtyjen tutkimusten kanssa. Viimeksi mainituissa näyttää neulasten osuus olevan kuitenkin hieman pienempi. Esimerkkinä mainittakoon seuraavat pienikokoisista puista tehdyt havainnot (GISLERUD 1974).

| D <sub>1,3</sub> , cm | Mänty  | Kuusi |
|-----------------------|--|-------|
|                       | Neulasten osuus maanpäällisestä biomassasta, % |       |
| 2 – 4                 | 4.7  | 20    |
| 4 – 6                 | 4.1  | 17    |
| 6 – 8                 | 4.7  | 14    |
| 8 – 10                | 5.2  | 10    |
| 10 – 12               |  | 11    |
| 12 – 14               |  | 8     |

Kun lehtipuitten lehtien määrästä ei ole vielä saatavilla Suomen oloista kerättyjä tietoja, joudutaan tässä vaiheessa viittaamaan Yhdysvaltain koilliskolkassa tehtyihin selvityksiin pienikoisten lehtipuitten viheraineesta. Seuraava asetelma edustaa Mainen osavaltiota, joka sekä ilmaston että puulajien osalta vastaa jossain määrin Etelä-Suomea (RIBE 1973).

|                                    | D <sub>1,3</sub> , cm – Dbh, cm             |      |     |     |
|------------------------------------|---|------|-----|-----|
|                                    | 2.5   | 5    | 10  | 15  |
|                                    | Lehtien osuus, %<br>Proportion of leaves, % |      |     |     |
| Koivu – <i>Betula sp.</i>          | 9.3   | 6.2  | 3.7 | 2.7 |
| Haapa – <i>Populus tremuloides</i> | 14.4  | 8.2  | 4.3 | 2.9 |
| Leppä – <i>Alnus rugosa</i>        | 16.4  | 8.6  | 4.0 | 2.4 |
| Paju – <i>Salix sp.</i>            | 14.8  | 11.1 | 7.8 | 6.2 |

Lehtipuitten lehtimassa on selvästi vähäisempi kuin kuusen. Markkinakelpoisen puuston osalta sama pätee myös männyn suhteen, mutta pienissä markkinakelvottomissa lehtipuissa on lehtimassan osuus mäntyyn verrattuna korkea. Aika, jolloin lehtien määrä on suurimmillaan, käsittää kuitenkin vain osan kasvukaudesta.

Metsäntutkimuslaitoksessa kerätään parhailaan aineistoa, joka tulee antamaan lisävalaistusta kokopuuraaka-aineen viheraineen määräästä. Tässä vaiheessa suositellaan ohjearvoina rinnankorkeusläpimitaltaan 5–10 cm:n puustosta saatavalle kokopuuhakkeelle käytettäväksi Etelä-Suomessa seuraavia keskimääräisiä lukuja, mutta on muistettava lukujen vaihtelevan laajoissa rajoissa etenkin puuston koosta ja metsikön tiheydestä riippuen. Luvut edellyttävät, että kaikki viheraines on otettu korjuussa talteen. Lehtipuitten osalta on kysymyksessä kesäaika.

|           | Kokopuuhakkeessa viherainetta, % |
|-----------|----------------------------------|
| Lehtipuut | 4 – 6                            |
| Mänty     | 5 – 6                            |
| Kuusi     | 10 – 20                          |

## 9.2. Lehtien ja neulasten aiheuttamat vaikeudet

Kokopuunkäytön kielteiset piirteet ovat suureksi osaksi seuraus lehtien ja neulasten sekoit-

tumisesta hakkeeseen. Teknologian kehittyessä viheraineen tuottamat vaikeudet tulevat tosin vähenemään, ja viheraineesta saattaa syntyä arvokas sivutuote. Mutta niin kauan kuin kokopuuhaketta jalostetaan perinteelliselle kuitupuulle suunnitelluilla ja mitoitetuilla laitteilla ja menetelmillä, heikentävät esimerkiksi seuraavat seikat kokopuunkäytön kannattavuutta.

a) Kokopuunkäyttöön liittyvät metsämaan ravinnetappiot kytkeytyvät paljolta lehtien ja neulasten pois kulkeutumiseen. Viheraineessa näet ravinteita on jopa enemmän kuin rungossa, kuten seuraava esimerkki puun maanpäälliseen osaan sitoutuneista ravinteista kolmessa eri männikössä osoittaa (MÄLKÖNEN 1974):

|   | N  | P | K  | Ca |
|---|----|---|----|----|
| Ravinteita kg/ha  |    |   |    |    |
| Metsikkö 1 (ikä 28 v., puusto 30 k-m <sup>3</sup> /ha)  |    |   |    |    |
| Runko   | 12 | 2 | 7  | 16 |
| Oksat   | 15 | 2 | 8  | 14 |
| Neulaset  | 26 | 3 | 11 | 9  |
| Metsikkö 2 (ikä 47 v., puusto 75 k-m <sup>3</sup> /ha)  |    |   |    |    |
| Runko   | 32 | 3 | 16 | 24 |
| Oksat   | 33 | 4 | 12 | 18 |
| Neulaset  | 44 | 5 | 17 | 9  |
| Metsikkö 3 (ikä 45 v., puusto 148 k-m <sup>3</sup> /ha) |    |   |    |    |
| Runko   | 57 | 5 | 31 | 61 |
| Oksat   | 38 | 4 | 17 | 23 |
| Neulaset  | 55 | 6 | 26 | 16 |



b) Kokopuuhakkeen nopea pilaantuminen aiheutuu lähinnä viheraineesta ja silmuista, joissa mikrobitoiminnalle edullisia ravinteita on runsaasti. Heikko säilyvyys johtuu lisäksi osaksi siitä, että pienistä puista tehdyssä kokopuuhakkeessa on sydänpuuta tuskin lainkaan.

Kokopuuhakkeen herkkyys pilaantumiselle on pantu merkille kaikkialla, missä sitä on jouduttu varastoimaan. Kun viheraine poistetaan ennen varastointia, säilyvyys paranee.

Mikrobitoiminnan nopeutta kuvaa norjalainen tutkimus, jossa pääasiassa havupuusta ja osin harmaalepistä koostuneita 20 i-m<sup>3</sup>:n kokopuuhakkeasojia varastoitiin heinäkuusta 1973 helmikuuhun 1974. Hakekasaan nylonverkoissa upotettujen näytteiden kuiva-ainetappiot olivat tuolloin seuraavat (GISLERUD 1974):

|             | Varastointiaika     |      |
|-------------|---------------------|------|
|             | 3 kk                | 6 kk |
|             | Kuiva-ainetappio, % |      |
| Puuaines    | 7.5                 | 17.8 |
| Kuoriaines  | 9.5                 | 16.3 |
| Neulaset    | 17.9                | 29.0 |
| Kokopuuhake | 13.4                | 17.9 |

c) Viheraine nostaa kokopuuhakkeen kuljetuskustannuksia. Se lisää kuorman painoa enemmän kuin sen kuiva-aineosuus edellyttää, sillä tuoreitten lehtien ja neulasten kosteus on puuainetta korkeampi. Esimerkkinä mainittakoon 11 pohjois-amerikkalaista lehtipuulajia edustavat keskiarvot lehtien osuudesta puun maanpäällisen osan biomassasta (RIBE 1973):

| D <sub>1,3</sub> , cm | Lehtien osuus, % |               |
|-----------------------|------------------|---------------|
|                       | Tuorepainosta    | Kuivapainosta |
| 2.5                   | 15.3             | 11.1          |
| 5                     | 10.4             | 7.3           |
| 10                    | 6.4              | 4.4           |
| 15                    | 4.7              | 3.2           |

Viheraine saattaa lisäksi alentaa hakkeen tiheyttä. Näin tapahtuu ainakin kuusella, josta valmistettu kokopuuhake sisältää runsaasti neulastupsuja. Tästä syystä kuusen kokopuuhake – ja aivan erityisesti kuusen oksahake – jää kuutiometripainoltaan muitten puulajien kokopuuhaketta kevyemmäksi. A. Ahlström Osakeyhtiön Warkauden Tehtaila suoritetuissa kokeissa tuoreesta kuusipuusta tehdyn kokopuuhakkeen paino oli vain 214 kg/i-m<sup>3</sup>, jolloin hake tosin oli siirretty lavalle puhaltimen sijasta traktorin etukuormaajalla.

d) Neulastupsut aiheuttavat tukkeutumia seuloissa ja kuljettimilla ja edistävät myös hakkeen holvaantumista siiloissa. Eri tahoilla kehitellään kuitenkin kokopuuhakkeen lajittelumenetelmiä, joissa kiinnitetään huomiota nimenomaan viheraineen erotteluun.

e) Viheraineessa on vähemmän kuituja kuin puussa. Niinpä lehtipuitten lehdistä on sulfaattimassan saanto vain 15 %:n suuruusluokkaa (vrt. LÖNNBERG 1975). Neulasia keitetessä saanto on hieman korkeampi (ESKILSSON 1974):

|                 | Valkaisematon | Valkaistu |
|-----------------|---------------|-----------|
|                 | massa         | massa     |
|                 | Saanto, %     |           |
| Kuusen neulaset | 26.4          | 24.2      |
| Männyn neulaset | 23.7          | 22.9      |

f) Viheraine aiheuttaa prosessiteknisiä vaikeuksia massaa keitetessä. Esimerkkeinä mainittakoon keittokattilaan mahtuvan kuiva-aineen määrän supistuminen, kemikalioiden kuluksen kasvu, sihtipintojen tukkeutuminen sekä massan suotautumismaston kohoaminen.

g) Viheraineesta valmistettu massa on laadullisesti keuhkoa. Sille ovat ominaisia heikko lujuus, likaisuus sekä huono vaaleus. Vaaleuden pysyvyys on suuresta uuteainepitoisuudesta johtuen heikko niinikään. Neulasten alunperinkin runsaat uuteaineet näet säilyvät verraten hyvin keitossa ja valkaisuissa, kuten seuraavat kuusta kuvaavat luvut osoittavat (ESKILSSON 1974):

|                        | Runkopuu       | Neulaset |
|------------------------|----------------|----------|
|                        | Uuteaineita, % |          |
| Puuaine                | 0.8            | 6.1      |
| Valkaisematon sa-massa | 0.4            | 7.2      |
| Valkaistu sa-massa     | 0.4            | 11.7     |

h) Neulaset ja lehdet vaikeuttavat lastulevyjen liimaamista ja heikentävät levyn lujuutta.

Edellä luetelluista syistä on tarkoituksenmukaista poistaa mahdollisimman suuri osa neulasista ja lehdistä ennen prosessia. Jos erottelu tapahtuu vasta tehtaalla, niin kuin useimmissa tapauksissa tultaneen tekemään, kertyy tehdasvarastolle suuria määriä pääasiassa lehdistä ja neulasista mutta osin myös kuoresta, silmuista, pienoksista ja puuaineestakin koostuvaa tuotetta, josta käytetään nimitystä *tek-ninen vihermassa*. Kokopuunkäytön taloudellisuuden kannalta on silloin tärkeätä, että myös näin saatu sivutuote hyödynnetään tehokkaasti.

### 9.3. Rasimenetelmä

Rasimenetelmällä tarkoitetaan korjuutapaa, jossa puut jätetään kaadon jälkeen karsimattomina hajalleen maahan tavoitteena elävän latvuksen haihdutuskyvyn hyväksikäyttö (kuva 40). Merkittävää kuivumista tapahtuu rasissa havupuillakin vain kasvukauden aikana. Kuivuminen alkaa rungon tyveltä ja etenee vähitellen latvaa ja oksia kohti. Kosteuden saavuttaessa tietyn rajan lehtien ja neulasten haihdutuskyky häviää ja kuivuminen pysähtyy lämpötilasta riippumatta.

Jos sääsuhteet ovat suotuisat ja puulajin fysiologian rajaama vähimmäiskosteus saavutetaan, lehdet ja neulaset kuihtuvat ja kuivuvat. Kokopuunkäyttöön yhdistetyllä rasiinkaadolla pyritään viheraine tätä tietä varistamaan metsämaahan.

Rasimenetelmän eduista ja haitoista mainittakoon seuraavat:

#### *Etuja:*

- Lehdet ja neulaset saadaan suotuisissa oloissa sellaiseen tilaan, että niitten pääosa varisee pois itsestään tai puuta liikuttaessa.
- Kokopuuraaka-aineen kosteus laskee, jolloin kuljetuskustannukset saattavat alentua ja puun tehollinen lämpöarvo kasvaa.
- Kuivumisesta on myös tiettyjä prosessitekniisiä etuja. Esimerkiksi lastulevyteolli-

suudessa lastujen kuivatuskustannukset alenevat, ja furfuraaliteollisuudessa saanto paranee saavuttaen optiminsa 30–35 %:n kosteudessa tuorepainosta laskettuna.

#### *Haittoja:*

- Kaadosta muodostuu erillinen työvaihe. Tämä hidastaa korjuuprosessia ja nostaa kaato- ja kasaustyön yhteenlaskettuja kustannuksia.
- Hakettamisen voimantarve kasvaa, kun puuaine kuivuu.
- Mikäli havupuita pidetään rasissa kaarna-kuoriaisten parveilu-aikaan huhti-kesäkuussa, ne tarjoavat hyvät lisääntymismahdollisuudet kasvavia puita vahingoittaville tuhohyönteisille. Myöhemmin suoritettuun männyn ja kuusen rasiinkaatoon tätä vaaraa ei enää liity, ja lehtipuita voidaan hyönteisongelman puolesta kaataa rasiin milloin vain.
- Hyvin kuivuneista rasipuista tehdyn kokopuuhakkeen käsittely on amerikkalaisten kokemusten mukaan pölyongelman vuoksi työntekijälle vähemmän miellyttävää.
- Rasissa kuivuva puu saattaa siirtää osan viheraineensa ravinteista oksiin ennen lehtien ja neulasten kuihtumista. Tähän mahdollisuuteen viittaavat kasvavien puitten karikkeesta tehdyt havainnot (vrt. VIRO 1955, MÄLKÖNEN 1975). On kuitenkin ilmeistä, että ravinteitten siirtyminen neu-



Kuva 40. Kevättalvella rasiin kaadettuja mäntyjä.  
*Figure 40. Leaf-seasoning of Scots pine in the spring.*

lasista oksiin ei ennätä tapahtua rasissa kuivuvassa puussa läheskään samassa laajuudessa kuin elävän puun neulasten kuollessa.

Metsäntutkimuslaitos suoritti 1950- ja 1960-lukujen taitteessa laajoja tutkimuksia pienikokoisen polttohakepuun kuivumisesta rasissa. Vallinneen tilanteen tarpeitten mukaisesti selvitykset kohdistettiin yksinomaan runkopuuhun, koska pienpuu tuolloin käytettiin karsittuna. Tuloksista, jotka siis eivät edusta kokopuuta vaan ainoastaan runkopuuta, mainittakoon seuraavat (HAKKILA 1962):

- Rasipuu kuivuu sitä paremmin, mitä pienempi se on kooltaan.
- Rungon tyvipää saavuttaa aina alhaisemman kosteuden kuin latvapää.
- Koivun runkopuu kuivuu rasissa nopeasti saavuttaen hyvissä oloissa 30 %:n kosteuden. Vielä elokuussakin suoritettu kaato johtaa hyvin tuloksiin.
- Harmaaleppä käyttäytyy rasissa lähes samoin kuin koivu mutta jää kuitenkin ehkä hieman kosteammaksi.
- Kuusi saavuttaa alimman kosteutensa, jos kaato tapahtuu viimeistään toukokuussa. Rungon keskimääräinen kosteus laskee alle 30 %:n ja erittäin suotuisissa oloissa jopa lähelle 20 %. Vielä elokuussakin kaadetuissa puissa ennättää tapahtua merkittävää kuivumista.
- Mänty kuivuu rasissa muita puulajeja heikommin. Mikäli kaato tapahtuu jo toukokuun aikana ja sääolot ovat suotuisat, saattaa rungon kosteus laskea jopa 25 %:iin, mutta useimmissa tapauksissa kosteus jää selvästi yli 30 %:n.
- Sadekausina ja syksyllä rasipuitten kosteus kasvaa.

Kun aikaisemmat räsitutkimukset kohdistuivat vain runkopuuhun, ne eivät anna vastausta oksien kuivumiseen ja viheraineen varisemiseen. Tästä syystä suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksessa kesällä 1974 koesarja, jossa selvitettiin pienikokoisten puitten kuivumista rasissa muutuneen tilanteen luomien uusien tarpeitten pohjalta. Koska sääsuhteet olivat runsaitten sateitten vuoksi poikkeukselliset, eivät nämäkään kokeet antaneet vielä riittävää selvyyttä rasiinkaatomenetelmän mahdollisuuksista kokopuunkäytön yhteydessä, vaan tarvitaan lisätutkimuksia. Päädyttiin seuraaviin tuloksiin:

Toukokuussa kaadetut koivut puhkeavat lehteen rasivaiheessa, mutta lehdet jäävät kooltaan pieniksi. Kesä-heinäkuun vaihteeseen mennessä lehdet kellastuvat ja alkavat sen jälkeen kuivua. Kesällä 1974 suurin osa toukokuussa kaadettujen koivujen lehdistä varisi heinäkuun kuluessa. Heinäkuun alkupuolella kaadettujen koivujen lehdet varisivat elokuun aikana vastaavasti.

Harmaalepällä lehdistön kehittyminen tapahtuu lähes samoin kuin koivulla. Toukokuussa kaadetut puut varistivat lehtensä heinäkuussa, ja kesä-heinäkuun vaihteessa kaadetut vastaavasti elokuussa.

Toukokuun alkupuolella rasiin kaadettujen kuusien latvus muuttui pääosiltaan ruskeaksi kesä-heinäkuun aikana siten, että neulasten värinmuutos ja kuivuminen etenivät hiljalleen puun tyveltä latvaa kohti.

Taulukko 15. Pienikokoisten puitten tuorepainosta lasketun kosteuden muuttuminen 2 kk:n rasikuivatuksen aikana kesällä 1974 Kiteellä. Table 15. The development of the moisture content (green weight basis) of small-sized trees during two months of leaf-seasoning in the rainy summer of 1974 in Kitee.

| Kaatoaika<br>Date of<br>felling  | Tuoreena<br>Green | 1 kk:n<br>kuluttua<br>After one<br>month | 2 kk:n<br>kuluttua<br>After two<br>months |
|----------------------------------|-------------------|--|---|
| Kosteus, % - Moisture content, % |                   |  |   |
| <b>KOIVU - BIRCH</b>             |                   |  |   |
| 13.5                             | 48                | 43                                       | 35  |
| 30.5                             | 50                | 43                                       | 36  |
| 9.7                              | 49                | 37                                       | 35  |
| <b>LEPPÄ - ALDER</b>             |                   |  |   |
| 11.5                             | 55                | 49                                       | 45  |
| 28.5                             | 58                | 43                                       | 46  |
| 29.6                             | 55                | 43                                       | 43  |
| <b>MÄNTY - PINE</b>              |                   |  |   |
| 8.5                              | 59                | 53                                       | 52  |
| 3.6                              | 56                | 52                                       | 51  |
| 5.7                              | 57                | 55                                       | 48  |
| <b>KUUSI - SPRUCE</b>            |                   |  |   |
| 9.5                              | 56                | 51                                       | 44  |
| 5.6                              | 50                | 46                                       | 41  |
| 8.7                              | 54                | 46                                       | 41  |

Neulasten variseminen alkoi vastaavasti alimmista oksista. Elokuun loppuun mennessä valtaosa neulasista oli pudonnut tai varisi puita liikuteltaessa. Variseminen oli runsainta pienimmissä koepuissa.

Männyllä latvus säilytti vihreän värisä kauemmin kuin muilla puulajeilla. Toukokuun alussa kaadettujen puitten latvus alkoi muuttua tyvipäästään ruskeaksi kesäkuun lopulla, mutta vielä elokuussakin oli viidenes neulasista vihreitä. Tuossa vaiheessa ruskeat neulaset olivat jäljellä, mutta puuta ravisteltaessa suurin osa niistä varisi pois.

Rasipuissa siis tapahtuu lehtien ja neulasten varisemista, männynssä kuitenkin paljon hitaammin kuin muissa puulajeissa. Kun puut kaadetaan riittävän varhain, irtoaa pääosa viheraineesta niitä syyskesällä tai sen jälkeen siirreltäessä ja hakettaessa. Havupuitten varhaista kaatoa rajoittaa kuitenkin hyönteisvaara.

Taulukko 15 kuvaa pienikokoisten puitten keskimääräisen kosteuden muuttumista 2 kk:n rasivaiheen aikana kesän 1974 epäedullisissa oloissa. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna kosteus jäi korkeaksi toisaalta sääolojen mutta toisaalta myös oksien huomioon ottamisen vuoksi. Keskimääräisissä oloissa päästäneen etenkin havupuilla parempiin tuloksiin. Toisaalta on kuitenkin muistettava, että hyvin kuivuneen rasipuun kosteus nousee kesäajan alimmista arvoista jälleen syksyllä.

#### 9.4. Viheraineen erottaminen hakkeesta

Kokopuuraaka-aineen korjuun eri vaiheissa häviää osa lehdistä ja neulasista. Tästä syystä viheraineen osuus on kokopuuhakkeessa todellisuudessa aina jonkin verran pienempi kuin kasvavissa puissa.

Viherainetta varisee maahan puita kaadettaessa, kasattaessa ja etenkin laahustaakkoina kuljettaessa. Hakkurin syöttölaitteen läpi kulkiessaan puu saattaa menettää runsaastikin lehtiä ja neulasia. PH-prototyyppihakkurin syöttölaitteen ketjukuljetin riipi eräissä kokeissa jopa viidenneksen männyn neulasista vähentäen vastaavasti viheraineen osuutta kokopuuhakkeessa.

Edellisestä huolimatta raaka-aineeseen jää kuitenkin useimmissa tapauksissa niin paljon viherainetta, että sen määrää on pyrittävä vähentämään ennen hakkeen jalostamista. Käytän-

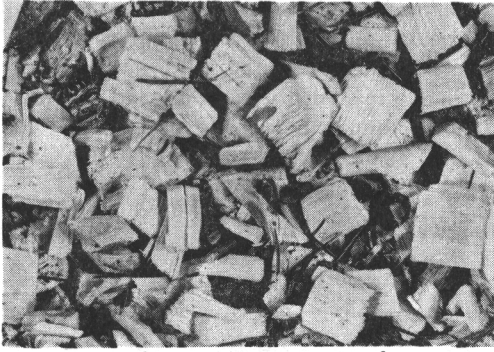
nössä viheraineen erottaminen tapahtuu rinnan kuoren erottamisen kanssa. Riippuu raaka-aineen eri komponenttien käyttötarkoituksesta ja puun viheraineen arvoeroista, miten tarkkaan erotteluun kulloinkin tulee pyrkiä.

Erottelu voi periaatteessa tapahtua palstalla, välivarastolla, alavarastolla tai tehtaalla. Yhdysvalloissa on ollut käytössä joitakin omalla dieselmoottorilla varustettuja, siirrettäviä seulalaitteistoja, mutta niitten käytöstä ollaan luopumassa lähinnä kalliitten siirto- ja käyttökustannusten sekä välivaraston järjestelyvaikeuksien vuoksi. Välivarastolla tapahtuva viheraineen erottelu ei sellaisenaan ratkaise myöskään metsämaan ravinnetappioihin liittyviä ongelmia, sillä poistettujen seulontajakeitten levittäminen takaisin metsään on vaikeasti toteutettavissa. Kuljetuskustannusten alentaminenkaan ei enää riitä perusteluksi seulonnan sijoittamiseksi välivarastolle, sillä poistettavan viher- ja kuoriaineksen polttoarvo ylittää roimasti sen kaukokuljetuskustannukset.

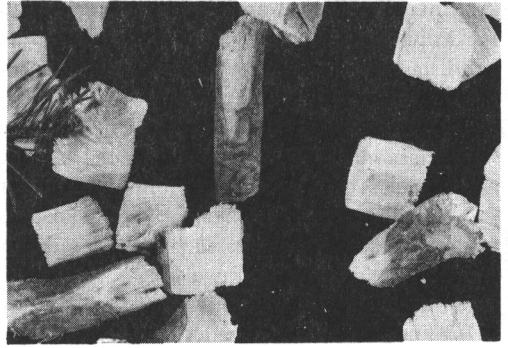
Viheraineen erottelu tapahtuu tulevaisuudessa pääasiassa ala- tai tehdasvarastolla, joilla voidaan käyttää kapasiteetiltaan ja tuloksen laadun suhteen tehokkaita laitteita. Jos lajitellaan heti tavaran saavuttua varastolle, säilyvyys paranee ja sallittu varastointiaika pitenee. Jos taas lajitellaan vasta välittömästi ennen käyttöä, voidaan purujakeen mukana poistaa myös varastoinnin aikana hajonnut hienojakeinen kuoriaines. Paras tulos saavutetaan, mikäli lajittelu tapahtuu kumpaisessakin vaiheessa.

Kokopuuhakkeen viheraine on osaksi pieniin kiinni jääneenä ja osaksi irrallisina lehtinä ja neulasina. Neulastupsut käyttäytyvät erilailla kuin irralliset neulaset, minkä vuoksi tehokas lajittelu saattaa edellyttää kaksivaiheista käsittelyä. Myös puulajien väliset erot ovat suuret.

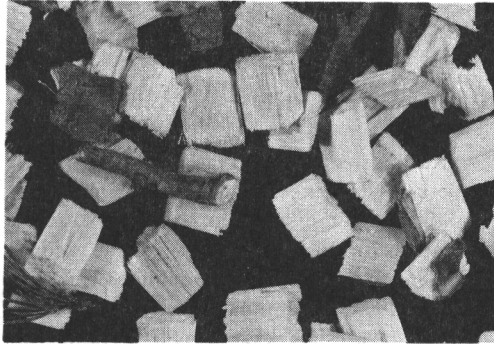
Viheraineen erottelu saattaa tulevaisuudessa tapahtua myös osaksi kemiallisesti uuttaen, mutta tässä vaiheessa näyttävät mekaaniset menetelmät ajankohtaisemmilta. Niitä on jo usean vuoden ajan kehitelty Yhdysvalloissa ja Kanadassa, erityisesti Pohjois-Michiganissa sijaitsevalla North Central Forest Experiment Stationilla, jonka kehittämien periaatteitten pohjalta St. Anne-Nackawick Pulp and Paper Limited on New Brunswickissa Kanadassa rakentanut ensimmäisen tehdasmittakaavaisen lehtipuiden kokopuuhakkeen käsittelyaseman (LANDEGGER, HARTLEY ja WAWER 1975). Suomessa on erityisesti Enso-Gutzeit Osakeyhtiö kehitellyt oksa- ja kokopuuhakkeen



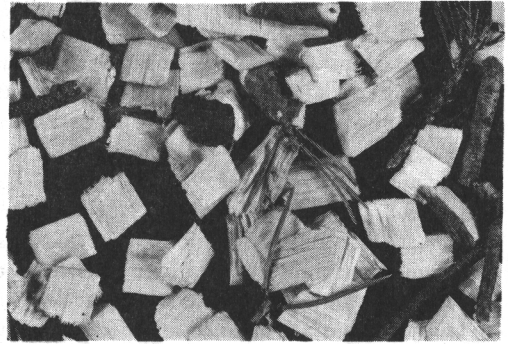
Seulomaton – Unscreened



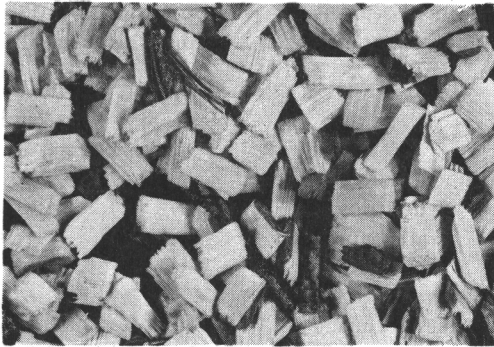
25–32 mm



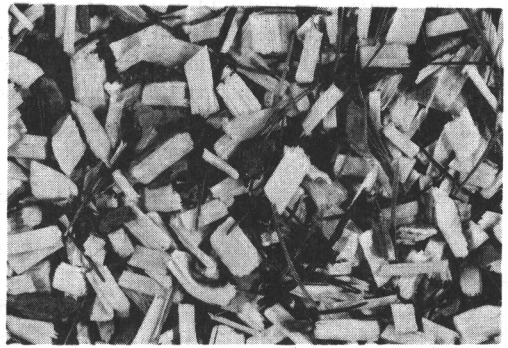
19–25 mm



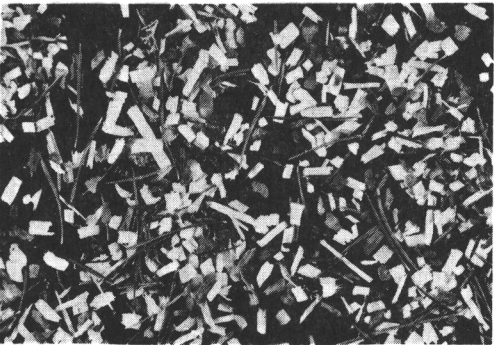
16–19 mm



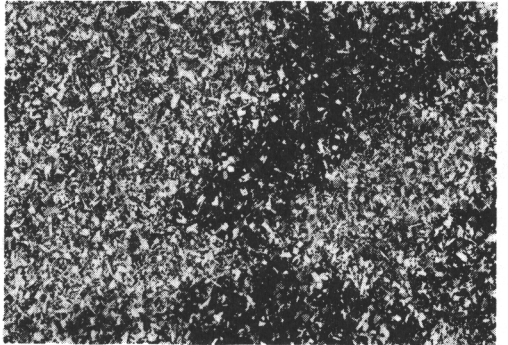
13–16 mm



6–13 mm



3–6 mm



< 3 mm

Kuva 41. Pienikokoisen männyn kokopuuhaakkeen seulontajakeet.  
Figure 41. The screening fractions of full-tree chips of small-sized Scots pine.

kuorinta- ja lajittelumenetelmiä. Eri tahoilla tutkimuksen kohteina olleista ratkaisuvaihtoehdoista mainittakoon viheraineen osalta seuraavat:

- Metsäteollisuuden tavanomaisia seulalaitteita käytettäessä viheraineen irralliset neulaset keskittyvät hienoimpiin jakeisiin. Neulastupsut sen sijaan jäävät pääjakeisiin. Rakoseula lienee tässä suhteessa reikäseulaa tehokkaampi (kuva 41).
- Puristuskuorinta, joka tähtää ensisijaisesti kuoren poistamiseen, on osoittautunut lupaavaksi myös neulasten osalta. Tässä menetelmässä hake ajetaan kahden pyörivän teräsynterän välisestä raosta, joka on kapeampi kuin hakepalasten paksuus. Epäpuhtaudet murenevät osaksi puruksi ja poistetaan seulomalla, ja osaksi ne tarttuvat lieriöitten pintaan, jolta ne kaivataan hylkyjakeeksi.

Seuraava esimerkki kuvaa North Central Forest Experiment Stationin koetta, jossa Suomesta toimitettua kuusen oksahaketta puhdistettiin monivaiheisessa puristuskuorintajärjestelmässä. Hakkeen alkuperäinen puupitoisuus oli varsin alhainen, ja sen kuori- ja neulasaines oli varastoinnin aikana biologisen prosessin seurauksena pitkälle tekeytynyttä. Puristuskuorintajärjestelmään yhdistettynä kokeiltiin myös tuulilajittelua, esihöyrytystä ja hakkeen pieksemistä (AROLA ja HILLSTRÖM 1972).

| Käsittely | Alkuperäisen puupitoisuus, % | Lajittelutulokset, % |        |          | Puunhukka, % |
|-----------|------------------------------|----------------------|--------|----------|--------------|
|           |                              | Puuta                | Kuorta | Neulasia |              |
| 1         | 28                           | 84                   | 1      | 15       | 5            |
| 2         | 34                           | 88                   | 4      | 8        | 8            |
| 3         | 50                           | 96                   | 3      | 1        | 11           |

- 1 = Kolmivaiheinen puristuskuorinta
- 2 = Höyrytys + puristus + piekseminen
- 3 = Tuulilajittelu + höyrytys + puristus + piekseminen

- Tuulilajittelu, joka perustuu hakkeen eri komponenttien tilavuuspainoeroihin, näyttää tarjoavan mahdollisuuksia viherajteen erottamiseksi. Menetelmä on tältä osin tehokkain lehtipuuraaka-aineelle, mutta edellyttää vielä runsaasti kehitystyötä. Hakkurin torvesta vaakasuunnassa ulos lentävään kokopuuhakkeeseen ylhäältä käsin kohdistettu puhallus saa

aikaan tehokkaamman lajittelun kuin vaapaasti putoaviin hakepalasiin vastaavasti vaakasuunnassa kohdistuva ilmavirta. Esimerkkinä edellisestä vaihtoehdosta mainittakoon seuraava koetulos (STUROS 1973a ja b).

| Tuulen nopeus, m/sek | Lajittelamatton Viherainetta, % | Lajiteltu Viherainetta, % | Puunhukka, % |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|
|                      | Sokerivaahtera                  |                           |              |
| 19                   | 6.1                             | 1.4                       | 11           |
| 25                   | 9.2                             | 1.7                       | 17           |
| 26                   | 7.0                             | 1.1                       | 13           |
| Loblollymänty        |                                 |                           |              |
| 19                   | 6.9                             | 4.0                       | 6            |
| 25                   | 7.4                             | 3.4                       | 10           |
| 26                   | 6.3                             | 2.3                       | 15           |

- Rumpuseulat tarjoavat huomionarvoisia etuja viheraineen erottelussa. Ensinnäkin niitten puhdistaminen voidaan saattaa jatkuvatoimiseksi, ja toiseksi ne voidaan yleisimpiin seulatyyppeihin verrattuna rakentaa kevyemmiksi ja siirrettäviksikin. Seuraava esimerkki kuvaa kaksivaiheisella rumpuseulonnalla saavutettua tulosta, kun neulastupsut pyrittiin poistamaan 10 ja irralliset neulaset 2.5 mm:n rakoseuloilla (STUROS 1973c).

| Ennen seulontaa       | Punamänty          | Valkokuusi |
|-----------------------|--------------------|------------|
|                       | Osuus hakkeesta, % |            |
| Neulastupsut          | 4.7                | 14.6       |
| Irralliset neulaset   | 9.8                | 7.0        |
| Yhteensä              | 14.5               | 21.6       |
| Seulonnan jälkeen     |                    |            |
| Neulastupsut          | 1.6                | 10.2       |
| Irralliset neulaset   | 2.3                | 0.2        |
| Yhteensä              | 3.9                | 10.4       |
| Seulonnassa poistettu |                    |            |
| Viheraineesta         | 74.5               | 57.1       |
| Kuoresta              | 34.5               | 22.0       |
| Puuaineesta           | 12.8               | 14.8       |

- Viheraineen seulonnan suurimpia vaikeuksia on seulapintojen tukkeutuminen. Tämän vuoksi on kehittelyn alaisena myös aivan uusia ratkaisuja, joissa neulastupsujen ja oksien aiheuttamia tukkeutumia ei pääse syntymään. Eräs yritys tähän suuntaan on samaan suuntaan pyörivistä peräkkäisistä tähtimäisistä teristä muodostuva seulataso, jolla tukkeumia ai-

heuttavat neulastupsut ja oksanpätkät poistetaan ennen hienojakeen erottamista.

Lajittelun kehittyminen tulee paljolta ratkaisemaan kokopuuhakkeen käyttömahdollisuudet etenkin massateollisuudessa. Puunhukan pienentäminen on nyt avainasemassa. Kun tyydyttävät menetelmät löydetään, poistuvat viheraineen aiheuttamat vaikeudet, ja samalla tulee

ala- tai tehdasvarastolle runsain määrin teknistä vihermassaa. Tämä sivutuote saattaa tekniikan kehittyessä osoittautua hyvinkin arvokkaaksi kemiallisen ja rehuteollisuuden raaka-aineeksi (vrt. PENSAR 1970 ja 1973, SIRÉN, BLOMBÄCK ja ALDEN 1970, KEAYS 1971, ALESTALO 1973, IEVINS, GALVANS, DAUGAVIETIS ja KEVINS 1973, SIRÉN 1973, KEAYS ja BARTON 1975).

## 10. TULOKSIA KÄYTTÖKOEISTA

Käyttäjän kiinnostus kokopuuhakkeeseen viriää joko tehtaan raaka-aine- ja kustannusongelmista tai puhtaasti metsällisistä näkökohdista. Sysäykseksi käyttökokeille riittää usein vain yksi seuraavista syistä, mutta itse asiassa ne kaikki ovat olemassa jo alunperin.

- Kokopuuhakkeena saatava lisäraaka-aine saattaa mahdollistaa tehtaan tuotannon laajentamisen.
- Pienpuusta tehty kokopuuhake nähdään puupulaa potevan tehtaan marginaalisena lisäraaka-aineena.
- Kokopuuhake nähdään kustannuksiltaan halpana raaka-aineena, jolla voidaan korvata kalliimpaa puuta.
- Kokopuuhaketusmenetelmästä etsitään ratkaisua työvoimapulan vuoksi vaikeutuvan mutta metsänhoidollisista syistä välttämättömään pienpuun korjuuseen.

Uuden raaka-aineen käyttömahdollisuuksia selvitellessä joudutaan kiinnittämään huomiota moniin näkökohtiin, joitten merkitys on vaikeasti rahassa mitattavissa. Lähinnä seuraavat tekijät ratkaisevat kokopuuhakkeen käytön tarkoituksenmukaisuuden kussakin yksityistapauksessa.

- Saatavan lisäraaka-aineen määrä ja koostumus.
- Kokopuuhakkeen tehdashinta vaihtoehtoisiin raaka-aineisiin verrattuna
- Kokopuuhakkeen käyttöön liittyvät prosessitekniset vaikeudet
- Tarvittavat lisäinvestoinnit
- Vaikutus lopputuotteen laatuun
- Metsätalouden näkökohdat

Samaakin lopputuotetta valmistavien tehtaitten osalta saattaa tarkastelu päättyä päin-

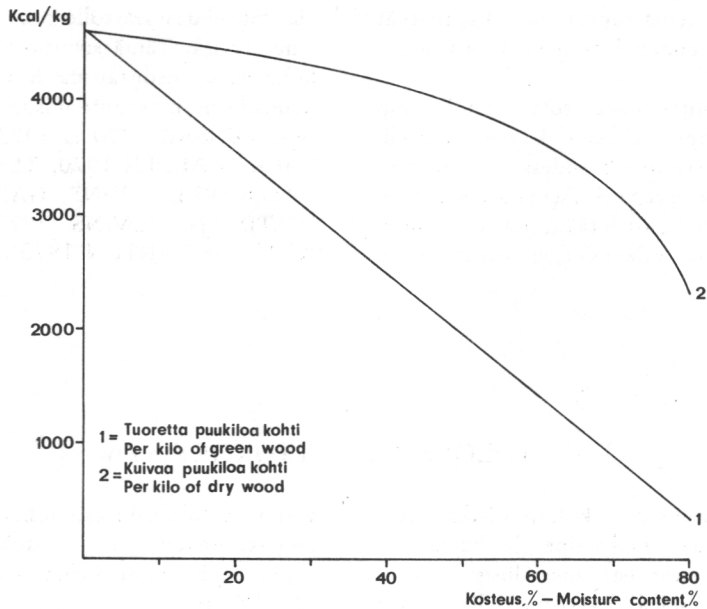
vastaisiin tuloksiin esimerkiksi hankinta-alueen metsikkörakenteesta ja tehtaan laitteistosta riippuen. Erityisen painavia ovat seuraavat näkökohdat:

- Tullaanko tehtaan entistä laitteistoa käyttämään uudesta raaka-aineesta huolimatta muuttumattomana, onko suunnitteilla laitteiston osittainen uusiminen vai onko kysymyksessä ehkä uuden tehtaan rakentaminen?
- Aiotaanko kokopuuhake käyttää sellaisenaan vai lajiteltuna? Jos raaka-aine lajitellaan, onko pääjakeesta poistetulle kuori- ja neulasjakeelle taloudellista käyttöä?
- Käsitelläänkö kokopuuhake prosessissa erillisenä tavaralajina omalla linjallaan vai muuhun raaka-aineeseen tiettyssä suhteessa seostettuna?

Käsillä olevassa luvussa puntaroidaan kokopuuhakkeen käytöstä aiheutuvia prosessitekniisiä ja lopputuotteen ominaisuuksiin liittyviä seikkoja. Yksityiskohtiin paneutumatta rajoitetaan vain yleisluontoisiin ongelmiin. Tiedot perustuvat eri tahoilla julkaistuihin tutkimuksiin, ulkomaisten tehtaitten kokemuksiin sekä eräisiin vuoden 1974 aikana Suomessa tehtyihin tehdaskokeisiin, joihin myös SITRA:n Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojekti on ollut myötävaikuttamassa.

### 10.1. Kokopuuhake polttoaineena

Päämääränä on kokopuuhakkeen ohjaaminen teollisuuden raaka-aineeksi. On kuitenkin tapauksia, joissa kokopuuhakkeen käyttö muita polttoaineita korvaavana energialähteenä näyt-



Kuva 42. Kokopuuhakkeen tehollinen lämpöarvo tuoretta ja kuivaa puukiloa kohti.  
 Figure 42. The effective fuel value of full-tree chips per kilo of green and dry chips.

tää mielekkäimmältä ratkaisulta. Mainittakoon seuraavat tilanteet:

- Kokopuuhake ei koostumukseltaan tai muilta ominaisuuksiltaan täytä hankinta-alueella toimivan teollisuuden vähimmäisvaatimuksia. Tämä koskee erityisesti rinnakkaista tavaralajia, oksahaketta, jonka sisältämään polttoainereserviin on viimeaikoina kiinnitetty suurta huomiota (vrt. KUUSELA 1974c).
- Teollisuus sijaitsee niin etäällä kokopuuhakkeen tuotantopisteestä, että kaukuljetuskustannukset estävät käytön muuna kuin paikallisena polttoaineena.
- Teollisuus lajittelee kokopuuhakkeen ennen jalostusprosessia, jolloin hyväksytystä hakejakeesta erotetut lehdet, neulaset, pienoksat, puru tai kuori halutaan polttaa. Huomautettakoon kuitenkin, että esimerkiksi tekniselle vihermassalle saattaa ennen pitkää löytyä arvokkaita käyttökohteita myös kemiallisessa ja biokemiallisessa teollisuudessa, maanparannusaineena j.n.e.
- Kokopuuhaketta käytetään kriisiajan polttoaineena. Polttoainehuollon vaikeutuessa voidaan kokopuuhakkeen hankintaorgani-

satiota käyttää polttohakkeen tuottamiseen.

Polttopuun tehollinen lämpöarvo<sup>\*</sup> riippuu voimakkaasti sen kosteudesta. Kuoren osuuden kasvaessa lämpöarvo nousee jonkin verran. Myös neulasten lämpöarvo lienee runsaitten uuteaineitten ansiosta hieman suurempi kuin puun, joskin korkea tuhkapitoisuus toisaalta vähentää sitä. Puun tehollinen lämpöarvo voidaan likimääräisenä laskea seuraavalla kaavalla (vrt. VUORELAINEN 1958), jonka pohjalta on piirretty kuva 42.

Tehollinen lämpöarvo, kcal/kg = 4550 - 51.4 K

K = Tuorepainosta laskettu kosteus, %

Taulukossa 16 on esitetty eri kokopuuhakelajien keskimääräinen tehollinen lämpöarvo. Vertailuna mainittakoon raskaan polttoöljyn lämpöarvo 9200-9900 Mcal/tonni, karkeanki-

\* Kolorimetrinen lämpöarvo osoittaa kilokaloreina sen lämpömäärän, joka syntyy yhden kilon ainetta palaessa. Puun palaessa syntyvästä lämmöstä osa kuluu kuitenkin veden höyrystämiseen ja menetetään savukaasujen mukana. Jäljelle jäävä lämpömäärä osoittaa puun tehollisen lämpöarvon.



Taulukko 16. Eri puulajien kokopuuhakkeen tehollinen lämpöarvo. Neulasten lämpöarvo on oletettu samaksi kuin kuorellisen puun,  
*Table 16. The effective fuel value of whole-tree chips of different tree species. The fuel value of foliage is assumed to be the same as that of unbarked wood.*

| Puulaji<br><i>Species</i> | Kuivumisaste<br><i>Seasoning</i>  | Kosteus<br>tuorepainosta<br><i>Moisture content<br/>on green weight basis</i><br>% | Hakekuutiometrin<br>tehollinen lämpöarvo<br><i>Effective fuel value of<br/>loose cubic metre of chips</i><br>Mcal |
|---------------------------|-----------------------------------|--|---|
| Mänty – <i>Pine</i>       | Tuore – <i>Green</i>              | 55   | 625   |
| Kuusi – <i>Spruce</i>     | »                                 | 55   | 590   |
| Koivu – <i>Birch</i>      | »                                 | 45   | 725   |
| Leppä – <i>Alder</i>      | »                                 | 50   | 545   |
| Mänty – <i>Pine</i>       | Rasikuiva<br><i>Leaf-seasoned</i> | 45   | 655   |
| Kuusi – <i>Spruce</i>     | »                                 | 35   | 655   |
| Koivu – <i>Birch</i>      | »                                 | 35   | 760   |
| Leppä – <i>Alder</i>      | »                                 | 40   | 575   |

vihhiin 6750 Mcal/tonni ja turvebrikettien 4300 Mcal/tonni. Tonni raskasta polttoöljyä voidaan siis korvata 13–18 kuutiometrillä tuoretta kokopuuhaketta.

Taulukossa mainittu rasipuun kosteus edellyttää kuivatuksen onnistumista. Esimerkiksi kesän 1974 poikkeuksellisen sateisissa oloissa ei näihin kosteusarvoihin päästy. Rasimenetelmä ei siis kykene kovin paljon lisäämään kokopuuhakkeen tehollista lämpöarvoa, ja se johtaa toisaalta talteen saatavan lehti- ja neulasmassan supistumiseen. Se saattaa kuitenkin olla eräissä tapauksissa riittävä mahdollistamaan tyydyttävän palamisen ilman tukipolttainetta. On myös huomattava, että kosteuden aleneminen ei merkitse yksinomaan tehollisen lämpöarvon kohoamista vaan myös polton hyötysuhteen parantamista. Poltossa vapautuvasta lämmöstä näet saadaan käytännössä talteen vain osa, jonka suuruus riippuu lähinnä laitteista ja puun kosteudesta.

SITRA:n lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektiin liittyen järjesti Oy W. Rosenlew Ab, Porin Voima maaliskuussa 1974 rämemännystä tehdyn tuoreen kokopuuhakkeen polttokokeen. Käytettävissä ollut hakeerä ei ollut riittävä yksityiskohtaisten mittaus- havaintojen edellyttämään pitempiä aikaiseen jatkuvaan ajoon, mutta sen perusteella voitiin kuitenkin tehdä yleisluonteisia päätelmiä kokopuuhakkeen käyttökelpoisuudesta voimalan polttoaineena.

– Kokopuuhake ei aiheuttanut vaikeuksia syöttölaitteissa. Holvaantumista ei esiintynyt.

– Hakkeen palakokajakautuma oli polton kannalta edullinen mahdollistaen riittävän ja tasaisen ilmansaannin. Tuoreudesta huolimatta hake paloi erittäin hyvin, ja tulipesän lämpötila oli liekin värin perusteella arvioiden korkea.

– Kokopuuhakkeen käyttö ei lisännyt ariinan kuonaantumista. Neulasten puuainetta suurempi tuhkamääräkään tuskin on haitallinen, sillä palamisliekin lämpötila ei ylitä puutuhkan sulamispistettä, niin että sintraantumista pääsisi tapahtumaan.

Koe osoitti kokopuuhakkeen hyvin soveltuvan voimalan polttoaineeksi. Ominaisuuksiltaan se vastaa täysin esimerkiksi halosta tehtyä haketta. Etuja fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna ovat rikittömyys, joka vähentää kattiloiden syöpymistä ja ilman saastumista, puutuhkan soveltuvuus lannoitusaineeksi sekä ennen kaikkea kotimaisuus.

## 10.2. Kokopuuhake kuitulevyjen raaka-aineena

Kaikista metsäteollisuuden haaroista on kuitulevyteollisuus vaatimattomin puuraaka-aineensa suhteen. Kuori, puun kemiallinen koostumus, kuitujen morfologiset ominaisuudet samoin kuin hakkeen palakokajakautuman vai-

telu merkitsevät vähemmän kuin sellua keitet-  
täessä. Hakkeen tulee kuitenkin olla puhdasta,  
sillä hiekka ja kivet kuluttavat kuiduttimia ja  
jauhimia ja ovat vahingollisia myös lopputuot-  
teessa.

Kuitulevyteollisuus syntyi aikanaan heikko-  
laatuista jäteraaka-ainetta jalostamaan, ja tä-  
nään se on myös kokopuuhakkeen potentiaali-  
sista käyttäjistä ensimmäinen. Jo nykyisin käy-  
tetään pieniä määriä oksaraaka-ainetta esimer-  
kiksi Neuvostoliiton, Ranskan, Romanian ja  
Bulgarian kuitulevyteollisuudessa (STATKOV,  
MATEJEV, MARINOV ja STOIKOV 1970),  
ja Yhdysvaltain kuitulevyteollisuus on ilman  
suuria vaikeuksia nopeasti omaksunut koko-  
puuhakkeen käytön (vrt. HAKKILA 1974a).

Kokeet runsaasti kuorta ja neulasia sisältä-  
vän hakkeen soveltuvuudesta kuitulevyjen val-  
mistukseen pantiin Suomessa alulle vuonna  
1969 Teknisessä Korkeakoulussa yhteispoh-  
joismaisen hakkuutähdeprojektin eräänä osa-  
tehtävänä. Laboratoriovaiheen osalta päädyttiin  
seuraaviin tuloksiin (HOSIA ja KORTELAINEN  
1971).

- Kuori, neulaset ja muu hienojae alensivat  
massan saantoprosenttia.
- Oksien suuri uuteainepitoisuus paransi  
kovalevyn hygroskooppisia ominaisuuksia.
- Kovalevyn lujuusominaisuudet eivät eron-  
neet merkittävästi tavanomaisista.

Myös saksalaisissa laboratorikokeissa juon-  
sivat kuusenoksien käyttöön liittyvät ongelmat  
alkunsa hakkeen hienojakeesta, joka koostuu  
lähinnä kuoresta ja neulasista. Hienojae johti  
jauhatusasteen kohoamiseen ja edelleen veden  
poistamisen vaikeutumiseen levyjä puristettaes-  
sa. Pääteltiin, että hakkeen seulomisella on  
ratkaiseva merkitys puhdasta oksahaketta käy-  
tettäessä. Mikäli oksien osuus ei kuitenkaan  
ylittänyt 50 % koko raaka-ainemäärästä, saavu-  
tettiin kovalevyjen vähimmäislaatuvaatimukset  
seulomattomallakin raaka-aineseoksella. Myös  
seitsenvuotiaan kuusentaimiston raivauspuusta  
tehty kokopuuhake osoittautui kelpolliseksi  
kuitulevyjen raaka-aineeksi. Oksalevyjen omi-  
naisuudet paranivat fenooliliimaa ja parafiiniä  
lisäaineina käytettäessä (PATT ja GETT 1973).

Neuvostoliitossa tehdyissä laboratorikokeis-  
sa osoittautui alavarastoille kertyvä oksaraaka-  
aine kuitulevyihin kelpolliseksi niinkään. Män-  
nyn, kuusen ja haavan seulotusta oksahakkeesta  
syntyi levyjä, joitten hygroskooppiset ja lujuus-

ominaisuudet täyttivät standardivaatimukset.  
Koivun oksista saatiin laadultaan tyydyttäviä  
levyjä vain turvautumalla erikoistoimenpiteisiin,  
kuten höyryttämiseen tai alkalikäsittelyyn. Tä-  
tä syystä katsottiin, että koivun osuus kuitu-  
levyteollisuuden oksaraaka-aineessa ei saa ylittää  
25–30 % (VORONICYN ja PAVLOV 1968).

Teknillisen Korkeakoulun laboratorikokeit-  
ten jatkona suoritettiin Enso-Gutzeit Osake-  
yhtiön Parviaisen tehtailla Säynätsalossa tehdas-  
koe, jonka raaka-aineena käytettiin Pika-50  
monitoimikoneen jäljiltä kerättyä havupuun  
oksaraaka-ainetta. Se koostui pääasiassa tuoreis-  
ta kuusen oksista ja latvuksista, eikä tämän  
runsaasti neulasainesta sisältävän oksahakkeen  
koostumusta pyritty seuloen tai muulla tavoin  
muuttamaan ennen tehdaskoetta. Tärkeimmistä  
tuloksista mainittakoon seuraavat (HOSIA ja  
KORTELAINEN 1971).

- Seulomattoman oksahakkeen käsittely va-  
kiovarusteisilla ruuvi- ja hihnakuljettimilla  
tuotti suuria vaikeuksia. Syynä olivat  
lähinnä pitkät oksanpätkät, jotka aiheut-  
tivat myös hakkeen holvaantumista.
- Kuiduttaminen ja jälkijauhatus sujuivat  
tavanomaisesti.
- Hakkeen hidastunut syöttö kuiduttimeen  
heijastui kuiturainan muotoutumisessa,  
niin että levy pyrki jäämään tavoiteltua  
ohuemmaksi. Tämä ei siis kuitenkaan  
johtunut massan ominaisuuksista.
- Vastoin odotuksia kuitumassan runsaat  
uuteaineet eivät aiheuttaneet kiinnipala-  
mista rainan kuumpuristuksessa.
- Jätevesi oli laadultaan tavanomaista hei-  
kompaa edellyttäen puhdistusmenetel-  
mien tehostamista.
- Levyt olivat värisävyltään tummia ja lu-  
juudeltaan keskimääräistä heikompia mut-  
ta hygroskooppisilta ominaisuuksiltaan  
normaalilevyn veroisia.

|   | Normaali-<br>levy | Oksalevy |
|---|-------------------|----------|
| Paksuus, mm                                 | 3.7               | 2.9      |
| Tiheys, kg/m <sup>3</sup>                   | 930               | 940      |
| Taivutuslujuus,<br>kp/cm <sup>2</sup>       |                   |          |
| - Koneen suunnassa                          | 390               | 308      |
| - Poikkisuunnassa                           | 387               | 290      |
| Poikittaisvetolujuus,<br>kp/cm <sup>2</sup> | 4.5               | 3.4      |
| Vesiabsorptio, %                            | 61                | 61       |
| Paksuusturpoama, %                          | 27                | 26       |

Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että tehdaskokeen raaka-aine, kuusen oksat, on kaikista käyttämättömistä metsäjätteistämme puupitoisuudeltaan selvästi alhaisin ja siten poikkeaa perinteellisestä raaka-aineesta paljon enemmän kuin kokopuuhaake. Muistettakoon myös, että koe suoritettiin puhtaalla, lajittelemattomalla oksaraaka-aineella, kun taas käytännössä tulee ainakin aluksi lähteä liikkeelle pienemmillä seossuhteilla ja pyrkiä poistamaan pääosa vihhermassasta ennen prosessia.

Norjalainen Treschow-Fritzøe yhtiö teki vuonna 1972 tehdaskokeita 30-vuotiaasta ensiharvennuskuusikosta saadulla kokopuuhaakkeella, jonka seososuus oli 20 % kaikesta raaka-aineesta. Kuusen suuresta neulasmäärästä huolimatta ei huokoisten kuitulevyjen tuotantoprosessissa voitu todeta häiriöitä, eivätkä myöskään levyjen ominaisuudet poikenneet tavanomaisesta merkittävästi (SELLAEG ja GISLERUD 1972, SELLAEG 1974). Myöhemmissä tehdaskokeissa saatiin Norjassa laadultaan täysin tyydyttäviä kovalevyjä myös raaka-aineella, jossa kuusen kokopuuhaakkeen osuus oli 80 %. Jäteveden orgaanisen aineksen määrä nousi

tosin suureksi, mutta se ei ylittänyt kuorellisen sahanhakkeen vastaavia arvoja (HELGE 1974).

Heinolan Faneritehdas Zachariassen & Co suoritti kesällä 1974 käyttökokeen, jossa tavanomaisen raaka-aineen seassa oli 30 % pienikokoisen lehtipuun kokopuuhaaketta. Puulajeina olivat leppä, haapa, koivu ja jopa pellonpiennarpaju. Lehtien osuutta oli pyritty vähentämään rasiinkaadolla, mutta epäedulliset sääsuhteet olivat suureksi osaksi mitätöineet toimenpiteen vaikutuksen. Tehdaskokeen kulku noudatteli kokopuuhaakkeelle totunnaisia linjoja:

- Hake näytti pilaantuvan tehdasvarastossa tavanomaisesta nopeammin.
- Pitkät pienokset vaikeuttivat hakkeen käsittelyä kuljettimilla, tukkivat seulapintoja tikkuaetta poistettaessa ja aiheuttivat hakkeen holvaantumista siiloissa.
- Massan kuiduttamisesta lähtien prosessi eteni tavanomaisesti ilman vaikeuksia.
- Jäteveden laatu heikkeni.
- Levyjen fysiikkaaliset ominaisuudet olivat normaalilevyjen veroiset lukuun ottamatta pinnan sileyttä, jota kokopuuraaka-aineesta tehdyn massan tikkuisuus heikensi (Heinolan...1974).

|  | 3.2 mm:n kovalevyt |              | 8.0 mm:n kovalevyt |              |
|--|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|  | Normaali-hake      | Kokopuu-seos | Normaali-hake      | Kokopuu-seos |
| Paksuus, mm                              | 3.2                | 3.3          | 9.0                | 8.9          |
| Tiheys, kg/m <sup>3</sup>                | 920                | 930          | 810                | 820          |
| Taivutuslujuus, kp/cm <sup>2</sup>       | 372                | 437          | 231                | 221          |
| Poikittaisvetolujuus, kp/cm <sup>2</sup> | 5.0                | 4.9          | 2.6                | 2.2          |
| Vesiabsorptio, %                         | 30                 | 24           | 15                 | 13           |
| Paksuusturpoama, %                       | 18                 | 14           | 7                  | 5            |
| Pinnan sileyks ml/min                    | 25                 | 50           | 42                 | 94           |

Heinolan kokeen osalta on pantava merkille käytetyn lehtipuuraaka-aineen varsin pieni koko. Mukanahan oli myös pellonojista korjattua pensasmaista puustoa, jossa vaikeasti hakettavien ohuitten oksien osuus oli suuri. Todettakoon myös, että Yhdysvalloissa on laboratorikokeissa onnistuttu valmistamaan 4- ja jopa 2-vuotiaista plataaninvesoistakin puolikovaa kuitulevyä (LAUNDRIE ja FAHEY 1973).

Laajimmat markkinakelvottomalla puuraaka-aineella tehdyt tehdaskokeet Pohjoismaissa lie-  
nee kuitulevyjen osalta suorittanut Aktiebolaget

Statens Skogsindustrier (ASSI) Ruotsissa vuosina 1971–1974. Kokeissa, jotka kohdistuivat sekä havupuitten oksiiin että havupuiseen kokopuuhaakkeeseen, tultiin seuraaviin johtopäätöksiin (NORDLINGER 1974):

Havupuitten riukuaste- ja ensiharvennusmetsistä saatava kokopuuhaake on täysiarvoinen raaka-aine kuitulevyteollisuudessa. Tällä raaka-aineella näyttää kuitenkin olevan käyttömahdollisuuksia myös massateollisuudessa, joten hintapolitiikka tulee lopulta ratkaisemaan, jääkö kokopuuhaaketta kuitulevyteollisuuden käyttöön. Myös hakuissa jäljelle

jäävistä latvuksista tehty hake on kuitulevyteollisuudessa nykyisin käytettävän hakkeen veroista, mutta kun latvat ja oksat haketaan yhdessä, on näin saatavan oksahakkeen arvo vain 85–90 % kuitulevyteollisuuden tavanomaisesta raaka-aineesta. Arvoeroon vaikuttavat m.m. oksahakkeen suurempi seulontahäviö (okсахаккеella 12–14 %, normaaliokсахаккеella 2–4 %), pienempi kuitusaanto ja oksalevyn heikommat lujuus- ja vesiabsorptio-ominaisuudet.

Pääteltiin, että Ruotsin kuitulevyteollisuudelle on täysin mahdollista kokopuuhakkeen ja oksahakkeenkin käytön aloittaminen jo vuoden 1975 aikana. Ensisijaisesti edellytetään seulonnan kehittämistä, hylätyjen seulontajakeitten polton mahdollistamista ja kuljettimien mukauttamista kokopuuhakkeelle. Pitkällä tähtäyksellä tulee laitteistoja uusittaessa kiinnittää huomiota kuitutuskapasiteetin mahdolliseen lisäämiseen sekä hakkuutähteistä tehtyjen levyjen vaatimaan tavallista voimakkaampaan karkaisukäsittelyyn.

Pohjoismaiset koetulokset, joskin niissä on myös joitakin ristiriitaisuuksia, käyvät ylipäänsä yksiin amerikkalaisten käytännön kokemusten kanssa (vrt. HAKKILA 1974a). Yhdysvalloissa kokopuunkäyttö on yleistynyt nopeasti nimenomaan kuitulevyteollisuudessa, ja niin myös meidän oloissamme näyttää tällä teollisuudenhaaralla olevan kaikki edellytykset kokopuuhakkeen hyväksikäyttöön, kunhan vain korjuumenetelmät kehittyvät käytännön toiminnan edellyttämälle tasolle. Tämän raportin painatusvaiheessa saadut ensimmäiset, julkaisemattomat tulokset Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton hakkuutähdeprojektin kuitulevyryhmän kokeista tukevat edellä mainittuja havaintoja osoittaen, että viherhake soveltuu kuitulevyjen raaka-aineeksi. Samoissa kokeissa todettiin kuitenkin jälleen, että viherhakkeen käyttö vaatii lisäinvestointeja jäteveden puhdistuslaitteisiin (LAJUNEN 1975).

### 10.3. Kokopuuhake lastulevyjen raaka-aineena

Raaka-aineen soveltuvuus lastulevyteollisuuteen kytkeytyy osin lastujen valmistustekniikkaan. Vaatimukset lastun paksuuden ja muiden mittojen, muotosuhteitten, suoruuden, pinnan sileyden sekä tasakokoisuuden osalta ovat ankarat kuin esimerkiksi kuitulevyteollisuudessa.

Ratkaisevaa edistysaskelta metsähakkeen käytölle lastulevyteollisuudessa merkitsee lastustekniikan viimeaikainen kehitys, joka on tehnyt mahdolliseksi jalostaa hake edelleen ohuiksi leikelastuiksi.

Runsaasti kuorta ja neulasia sisältävän oksa- ja kokopuuhakkeen tekniset käyttömahdollisuudet riippuvat prosessimetelmästä. Kuoripitoiset raaka-aineet soveltuvat väri-, siley- ja lujuusvaatimusten vuoksi ensisijaisesti kolmikerroksisen levyn keskilastuksi, jonka osuus on 60–65 % lastulevyteollisuutemme puunkulutuksesta (LIIRI, KIVISTÖ ja LAINE 1972). Mikäli levyt pinnoitetaan, puuraaka-aineen ja kuoren värin merkitys vähenee pintakerroksessakin. Toisaalta taas huonekaluteollisuudessa käytettävien levyjen raaka-ainevaatimukset ovat ankarat kuin rakennuslevyjen.

Lastulevyteollisuudessa alkoivat metsähakkeen käyttöön tähtäävät tutkimukset oksahakkeesta, joka poikkeaa totunnaisesta raaka-aineesta enemmän kuin varsinainen kokopuuhake. Bulgariassa todettiin jo 1960-luvulla, että kuusen, jalokuusen ja pyökin paksuudeltaan yli 2 cm:n kuorimattomat oksat, joista ohuet kärjet neulasineen ja lehtineen oli poistettu, soveltuivat hyvin yksi- ja kolmikerroksisten levyjen valmistamiseen. Levyjen lujuus ja ruuvinpidätyskyky täyttivät vaatimukset. Yksikerroksisilla levyillä väri jäi kuitenkin kirjavaksi, ja lisäksi niiden lujuusominaisuudet alkoivat heikentyä, kun raaka-aine koostui pelkästään ohuista oksista. Näin päädyttiin suosittelemaan yli 2 cm:n paksuisten oksanosien käyttöä kolmikerroksisen levyn keskilastun raaka-aineena (STATKOV, MATEJEV, MARINOV ja STOKOV 1970).

Valtion teknillinen tutkimuskeskus on suorittanut laajoja laboratoriokokeita männyn ja kuusen oksa- ja kokopuuhakkeen sekä koivun oksahakkeen soveltuvuudesta kolmikerroksisen lastulevyn raaka-aineeksi. Tähän mennessä julkaistut tulokset koskevat puhtaan oksaraaka-aineenkin osalta pienikokoisia ensiharvennuspuita, joissa oksien puupitoisuus on tukkipuihin verrattuna epäedullisen alhainen. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen kokeitten tärkeimmistä tuloksista mainittakoon seuraavat (LIIRI, KIVISTÖ ja LAINE 1972).

– Metsähakkeen lastuaminen onnistui hyvin. Lastujen paksuus hallittiin tyydyttävästi, eivätkä pihka, kuori ja neulaset aiheuttaneet ainakaan lyhytaikaisissa kokeissa käytännön vaikeuksia.

- Mitä pienempää metsässä tehty oksa- tai kokopuuhake oli palakooltaan, sitä pienempi oli myös niistä saatujen lastujen keskikoko. Hienojakeisin lastu syntyi niin ollen kuusen oksahakkeesta.
- Oksa- ja kokopuuhakkeesta tehtyjen lastujen lisääminen keskilastujen joukkoon vaikutti levyjen taivutuslujuuteen vain vähän, sillä tuo ominaisuus määräytyy pääasiassa pintakerrosten perusteella. Koostettaessa keskikerros yksinomaisesti oksa- tai kokopuuhakkeesta taivutuslujuus aleni noin 5 %, kuusen oksilla kuitenkin 10 %.
- Lastulevyjen ehkä kriittisin laatutekijä, poikittaisvetolujuus, sen sijaan riippuu ratkaisevasti myös levyn keskikerroksen raaka-aineesta. Mitä pienempää metsähake oli palakooltaan, sitä pienempiä olivat myös siitä saadut lastut ja sitä alhaisempi levyn poikittaisvetolujuus. Siitä syystä kuusenoksien pienijakeinen ja runsaasti neulasia sisältänyt lastuaines tuotti heikoimman levyn. Neulasten epäedullisen muodon katsottiin vaikeuttavan hyvän liimaussauaman aikaansaamista. Seuraavat lukusarjat osoittavat tilavuuspainoltaan  $0.70 \text{ g/cm}^3$  levyn poikittaisvetolujuuden keskilastun joukkoon lisätyn oksa- tai kokopuuraaka-aineen seossuhteesta riippuen.

| Keskilastun<br>lisäraaka-aine | Lisäraaka-aineen osuus, %              |     |     |     |
|-------------------------------|--|-----|-----|-----|
|                               | 0                                      | 25  | 50  | 100 |
|                               | Poikittaisvetolujuus, $\text{kp/cm}^2$ |     |     |     |
| Mänty, kokopuu                | 5.5                                    | 5.4 | 5.6 | 6.1 |
| Mänty, oksat                  | 5.5                                    | 5.8 | 4.6 | 4.3 |
| Kuusi, kokopuu                | 5.5                                    | 5.4 | 5.3 | 3.9 |
| Kuusi, oksat                  | 5.5                                    | 4.7 | 3.5 | 2.1 |
| Koivu, oksat                  | 6.7                                    | 6.2 | 5.3 | 4.7 |

- Männyn kokopuuhake osoittautui tutkituista raaka-aineista selvästi parhaaksi ja täysin käyttökelpoiseksi lastulevyteollisuudessa. Kuusen kokopuuhake ja koivun oksahake olivat lähes yhtä hyviä, eikä männynkään oksahake jäänyt suuresti näistä jälkeen. Sen sijaan kuusen oksat, joista siis neulasia ei oltu eroteltu pois, olivat raaka-aineena huomattavasti muita heikompia. Katsottiin, että tilavuuspainoltaan  $0.70 \text{ g/cm}^3$  levyä tehtäessä muita tutkittuja raaka-aineita voidaan käyttää keskikerroksessa jopa 100 % mutta kuusen oksia enintään 25 %.

Syksyllä 1974 suoritettiin G.A. Serlachius Oy:n Tiwin lastulevytehtaalla yhteistyössä Puulaaki Oy:n ja SITRAN lyhytkiertopuun kasvat- ja käyttöprojektin kanssa tehdaskoe, jossa kolmikerroksisen lastulevyn keskilastuun sekoitettiin 10–30 % männyn kokopuuhaketta. Raaka-aine oli peräisin metsiköstä, jonka kehitysaste vastasi pahoin viivästyntä taimiston harvennusvaihetta tai varhain toteutettua ensiharvennusta. Kokopuuhake, jonka puupitoisuus oli 75 %, ei aiheuttanut prosessivaikeuksia. Levyn lujuusominaisuudet täyttivät standardivaatimukset, joten tulokset vastasivat laboratorio-tutkimuksia.

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen laboratoriokoesarjassa ei ollut mukana koivun kokopuuhaketta. Oksista saadut kokemukset viittasivat kuitenkin siihen, että myös pienikokoisesta koivupuusta tehty kokopuuhake soveltuu hyvin kolmikerroksisen lastulevyn keskilastun raaka-aineeksi. Norjalaisen A. L. Orkla Skog-industrin koivun kokopuuhakkeella myöhemmin tekemät lastulevykokeet tuottivatkin lupaavia tuloksia (SELLAEG, KUCERA ja MENGKROG 1972). Talvella korjattua kokopuuhaketta käytettäessä tehdasajossa ei esiintynyt oksanpätivistä tai muista tekijöistä aiheutuneita teknisiä vaikeuksia. Lumettomana aikana laahustaakkoina välivarastolle tuoduista koivuista tehty kokopuuhake sen sijaan sisälsi hiekkaa ja pieniä kiviä, jotka nopeasti tylsyttyivät lastuamiskoneen terät.

Puhtaasta kokopuuraaka-aineesta tehdyt 18 mm:n levyt olivat norjalaisessa tehdaskokeessa lujuudeltaan jonkin verran heikompia kuin kontrollilevyt. Myös levyjen hygroskooppiset ominaisuudet olivat tavanomaista heikompia. Osa eroista selittyi kuitenkin kokopuuraaka-aineesta tehtyjen levyjen alhaisemmalla tilavuuspainolla.

| Levyn ominaisuus                       | Raaka-aine         |                             |
|--|--------------------|-----------------------------|
|  | Koivun kokopuuhake | Tehtaan normaali raaka-aine |
| Tilavuuspaino, $\text{g/cm}^3$         | 0.71               | 0.74                        |
| Taivutuslujuus, $\text{kp/cm}^2$       | 238                | 259                         |
| Poikittaisvetolujuus, $\text{kp/cm}^2$ | 7.4                | 8.5                         |
| Paksuusturpoama, % (2 h)               | 5.4                | 4.9                         |
| Paksuusturpoama, % (24 h)              | 12.2               | 11.6                        |

Tehdaskoe osoitti pienikokoisen koivun kokopuuhakkeen täysin käyttökelpoiseksi lastulevyteollisuuden raaka-aineeksi. Prosessitekni-

kassa sen enempää kuin tuotteen laadussakaan ei todettu voittamattomia vaikeuksia (SEL-LAEG, KUCERA ja MENGKROG 1972).

Suuresta neulasmassasta johtuen oksa- ja kokopuuraaka-aineesta aiheutuvat vaikeudet ovat ilmeisimmät kuusella. Saksassa ja Tanskassa koetointa on metsien puulajirakenteen vuoksi kohdistunut kuitenkin juuri kuuseen. Erityisesti on mainittava Wilhelm-Klauditz-Institut'in laboratoriotutkimukset (CHEN ja PAULITSCH 1974a ja b, CHEN, PAULITSCH ja SOTO 1972):

Rinnankorkeusläpimitaltaan 5–6 cm:n paksuisesta kuusesta saatua kokopuuraaka-ainetta käytettiin sekä 1- että 3-kerroksisten levyjen valmistamiseen. Puhtaasta kokopuuraaka-aineesta tehdyt yksikerroksiset levyt eivät täyttäneet lujuukseltaan ja hygroskoopisilta ominaisuuksiltaan standardivaatimuksia. Runsaasti kuorta ja neulasia sisältävän hienojakeen poistaminenkaan ei parantanut tulosta riittävästi. Myös kolmikerroksisella levyllä päädyttiin epätydyttäviin tuloksiin, kun pintakerrokset tehtiin kokopuulastujen hienojakeesta ja keskikerros karkeajakeesta. Neulasten vahapitoisilla aineilla ei todettu levyssä vettähylykivää vaikutusta, mutta lujuuden heikentyminen sen sijaan näytti selvästi liittyvän neulasten rasvojen, vahojen ja eteeristen öljyjen aiheuttamaan liimauksen vaikeutumiseen.

Kokeet johtivat tyydyttäviin tuloksiin, kun puolet raaka-aineesta oli kuorittua kuusi-puuta ja toinen puoli hyvin pienikokoisen kuusen kokopuuhaketta, josta viimeksi mainitustakin pääosa neulaspitoisesta hienojakeesta oli poistettu seulomalla. Levyn lujuus täytti nyt vaatimukset. Todettiin myös, että kokopuuhake muutti levyn palamisominaisuuksia edulliseen suuntaan.

Kokopuuhakkeen käyttö on toistaiseksi toteutettu vain muutamilla lastulevytehtailla Yhdysvalloissa. Esimerkkinä mainittakoon seuraavat havainnot U. S. Plywoodin Gaylordin tehtaan kokemuksista Michiganissa.

Kokopuuhake muodostaa kolmanneksen tehtaan kaikesta raaka-aineesta. Se ohjautuu kokonaisuudessaan kolmikerroksisen levyn keskilastuun,

Kokopuuhake koostuu pääasiassa haa-vasta, mutta pienessä määrin on joukossa myös tammea, vaahteraa, jalavaa, koivua ja muita lehtipuita. Myös balsamijalokuusen ja

Banksin männyn kokopuuhake kelpuutetaan, kun taas punamäntyä ja kuusia ei neulasten aiheuttamien vaikeuksien vuoksi hyväksytä kokopuuhakkeena. Banksin männyn paremmuus punamäntyyn nähden perustuu yksinomaan lyhyempään neulaseen. Pantakoon merkille, että meikäläinen mänty asettuu neulasensa pituuden suhteen näiden kahden mäntylajin välille. Lehtien painosuuden ei sallita nousta yli 2 %:n, ja siksi käytetään lehtipuilla kesäaikana myös rasiinkaatoa.

Kokopuuhake ei aiheuta tehtaalla vakavia prosessitekniisiä tai laadullisia ongelmia. Myöskään liiman kulutuksessa ei ole havaittu merkittäviä muutoksia. Lähinnä on kysymys oksanpätkien aiheuttamista seulojen ja pneumaattisten kuljetusjärjestelmien tukkeutumisesta, juontovaiheessa kuoreen jäävän hiekan jauhimia ja teriä kuluttavasta vaikutuksesta sekä tuhkan lisääntymisestä hienojaetta poltettaessa. Jauhimien säästämiseksi tullaan hienojake vastaisuudessa poistamaan pääjakeesta ennen lastutusta ja osittain palauttamaan muun raaka-aineen sekaan lastutusvaiheen päätyttyä.

#### 10.4. Kokopuuhake massan raaka-aineena

Puun koko maanpäällisestä osasta saatava hake ei puuaineen ominaisuuksien suhteen poikea ratkaisevasti perinteellisestä kuitupuusta. Eroja tosin on puuaineen tiheydessä, kuitujen mitoissa ja jopa kemiallisessa koostumuksessa, mutta ne eivät muodosta ylipääsemätöntä estettä kokopuuhaketta massan raaka-aineena käytettäessä. Vakavampi ongelma muodostuu sen sijaan viheraineesta ja kuoresta.

Kuori aiheuttaa massateollisuudessa prosessitekniisiä vaikeuksia, ja sen pelätään heikentävän lopputuotteen laatua. Haitat ovat vakavimpia sulfiittimenetelmää käytettäessä. Nykyiset alhaiset kuoriprosenttirajat ovat määrättyneet lähinnä seuraavien kuoresta aiheutuvien haittojen välttämiseksi.

- Massan saanto keittokattilaan pantavaa raaka-ainetonnina kohti alenee.
- Edellisestä johtuen keittokapasiteetin käyttöteho laskee
- Keitto- ja valkaisu kemikalioitten kulutus massatonna kohti kasvaa
- Massan vaaleus kärsii
- Massan likaisuus kasvaa

- Kuoren hienot kuidut aiheuttavat vaikeuksia keittimissä ja paperikoneella.

Massateollisuutemme soveltaa verraten ankaria kuorintavaatimuksia. Esimerkiksi sahanhakkeen suurin sallittu kuorimäärä on sekä sulfaatti- että sulfiittimassateollisuudessa vain 1 % kuivapainosta. Nykyisen käsityksen mukaan tämä raja on monessa tapauksessa kuitenkin epärealistisen korkea. Kuoriminen on kallista, ja siihen liittyy puunhukkaa sekä usein myös jätevesi- ja muita ympäristöongelmia. Samalla menetetään kuoren käyttökelpoinen kuituaines, keskimäärin jopa 20 % sen kuivapainosta.

Tästä syystä on viime aikoina alettu osoittaa lisääntyvää kiinnostusta kuorellisen puun keittoon. Saavutettavista eduista ja niitten mukanaan tuomista haitoista mainittakoon seuraavat (vrt. AUCHTER ja HORN 1973, VIRKOLA 1974):

#### Etuja:

- Kuorettoman puun kulutus massatonna kohti supistuu
- Kuorimoa ei tarvita
- Kuorimisesta aiheutuvat jätevesihaitat poistuvat
- Kuoren polttolaitteistoa ei tarvita, kun poltto tapahtuu soodakattilassa

#### Haittoja:

- Massan saanto raaka-ainetonna ja keittoerää kohti alenee, jolloin keittimen kapasiteettia on vastaavasti laajennettava, mikäli tuotanto halutaan pysyttää ennallaan
- Kuiduttaminen, pesu ja lajittelu vaikeutuvat edellyttäen mahdollisesti lisäkapasiteettia erityisesti pyörrepuhdistuslaitteissa
- Keittokemikalien kulutus kasvaa jopa viidenneksellä
- Kuoren hieno kuituaines saattaa aiheuttaa vaikeuksia keittimissä ja paperikoneella
- Valkaisukemikalien kulutus saattaa kasvaa
- Haihduttamon massatonna kohti lasketua kapasiteettia on nostettava
- Soodakattilan kapasiteettia on lisättävä
- Kuoreen tarttuvat hiekka ja muut epäpuhaukset nopeuttavat laitteitten kulumista.

Kuorellisen puun keittola saavutettavien etujen merkitys on korostunut raaka-aineen niukuuden ja työvoimatilanteen kiristyessä. On tultu tilanteeseen, jolloin uusi massatehdas saattaa ennen kaikkea raaka-aineen säästämiseksi olla edullisinta rakentaa ilman kuorimoa. Ensimmäinen suomalainen tehdassovellutus, jossa ha-

vupuu keitetään kuorellisena, on toteutusvaiheessa.

Kuorellisen puun keitto on nykytekniikan puitteissa sekä sulfaatti- että NSSC-massateollisuudessa siis jo täysin mahdollista ja tietyn edellytyksin myös taloudellisesti edullista. Vastaavasti on myös kokopuuhakkeen käytölle olemassa tarvittavat edellytykset. Tekninen kehitystyö viheraineen ja kuoren erottamiseksi hakkeesta on tällä hetkellä erittäin aktiivista, ja se näyttää johtavan käytännön tuloksiin jo lähiaikoina (vrt. AROLA 1973, AROLA ja ERICKSON 1973, ERICKSON 1973, BILTONEN ja MATTSON 1974, LANDEGGER, HARTLEY ja WAWER 1975). Vaikkakaan kokopuuhaketta ei saada täysin kuorettomaksi, sen viheraine- ja kuoripitoisuus tulee kehitteillä olevissa laitteistoissa putoamaan oleellisesti alhaisemmaksi kuin kuorimattomassa pinotavara-

rasassa. Kokopuuhake on jo saavuttanut pysyvän jalansijan Yhdysvaltain ja Kanadan massateollisuuden lisäraaka-aineena. Koska useissa, erityisesti amerikkalaisissa ammattilehdissä on moneneen otteeseen kerrottu massateollisuuden kokemuksista pitkäaikaisen kokopuunkäytön yhteydessä, ei ole katsottu tarkoituksenmukaiseksi niitä tässä kerrata (vrt. HAKKILA 1974). Viimeaikaisissa muutoin myönteisissä lehtiartikkeleissa on uutena piirteenä tuotu esiin kokopuuhakkeen käyttöön liittyvä laitteitten kulumisen nopeutuminen, joka ei kuitenkaan ole missään johtanut kokopuuhakkeesta luopumiseen. Tältä osin on paikallaan todeta, että Yhdysvalloissa yleinen kokopuitten laahustaakajuonto likaannuttaa raaka-aineen paljon pahemmin kuin meikäläinen kuormatraktorikuljetus. On myös huomattava, että meikäläisen metsämaan pintakasvillisuus ja talviajan lumi-peite suojaavat laahustaakkojakin hiekalta siinä määrin, että tämä etenkin Yhdysvaltain etelävaltioissa koettu ilmiö tulee meillä jäämään todennäköisesti oleellisesti lievemmäksi.

Suomessa ja Ruotsissa ei ole vielä yletty jatkuvaan käytännön toimintaan, vaan kokemukset ovat toistaiseksi laboratoriokeittojen ja laajojen tehdaskokeitten varassa. Saavutettujen lupaavien tulosten osalta viitataan esimerkiksi seuraaviin julkaisuihin: ALESTALO ja HENTOLA 1966, STARCK ja PALENIUS 1970, HOSIA, LINDHOLM, TOIVANEN ja NEVALAINEN 1971a, ESKILSSON 1972, 1973 ja 1974, PALENIUS 1974, VIRKOLA 1974 ja LÖNNBERG 1975.

Tehdaskokeita ovat vuosina 1974 ja 1975 suorittaneet meillä m.m. Oy W. Rosenlew Ab, Enso-Gutzeit Osakeyhtiö, Metsäliiton Teollisuus Oy, Veitsiluoto Osakeyhtiö, A. Ahlström Osakeyhtiö, Oy Tampella Ab sekä Savon Sellu Oy. Vaikeudet ovat yleensä olleet ennemminkin prosessitekniisiä kuin lopputuotteen laatuun liittyviä. Osin vielä keskeneräisten laboratorio- ja tehdaskokeitten tuloksiin puuttumatta kiinnitetäkseen kuitenkin huomiota eräisiin näkökohtiin, jotka vaikuttavat tehdaskokeitten pohjalta tehtäviin teknisiin ja taloudellisiin ratkaisuihin. Keittomenetelmästä ja lopputuotteesta riippumatta erityisesti seuraavat yleiset tekijät ovat ratkaisevia:

- Rajoittaako massatehtaan toimintaa ensisijaisesti raaka-aineen riittämättömyys vai jokin muu tekijä?
- Onko kokopuuhakkeen käyttöönoton yhteydessä kysymyksessä uuden tehtaan perustaminen, vanhan tehtaan laitteistojen uusiminen vaiko vain vanhan tehtaan raaka-ainepohjan laajentaminen laitteita kuitenkin uusimatta?
- Aiotaanko kokopuuhake keittää kaikkine komponentteineen sellaisenaan vai siten lajiteltuna, että pääosa viher- ja kuori-aineesta poistetaan muissa kohteissa käytettäväksi ennen prosessia?
- Keitetäänkö kokopuuhake erillisenä tavaralajina omalla linjallaan vai tehtaan tavanomaiseen raaka-aineeseen tietyissä suhteissa seostettuna?
- Onko kysymyksessä markkinamassa vai aiotaanko massa käyttää paperin valmistukseen omalla tehtaalla?

## 10.5. Kokopuuhake furfuraalin raaka-aineena

Kokopuuhakkeen poikkeuksellinen koostumus ja puuaineen ominaisuudet ovat perinteisen metsäteollisuuden kannalta voittopuolisesti kielteisiä piirteitä, jotka asettavat tehdasprosessille erityisvaatimuksia. Kemiallisessa ja biokemiallisessa teollisuudessa ei näin välttämättä ole, vaan tiedon karttuessa kokopuuhake saattaa tarjota näille teollisuudenhaaroille hyvinkin otollisen raaka-ainepohjan.

Tämän aihepiirin tutkimustyö on jäänyt toistaiseksi varsin vähäiseksi. Uusia mahdolli-

suuksia saattaa tutkimuksen myötä avautua esimerkiksi alkoholi-, sokeri- tai rehuteollisuudessa, kun kokopuuraaka-aineen lajittelu- ja jalostustekniikka kehittyvät. Ensimmäisen esimerkin kemiallisen teollisuuden alalta tarjoaa Oy W. Rosenlew Ab:n furfuraalitehdas Porissa:

Laitoksen vuosituotanto on 1000 tonnia furfuraalia, jonka sivutuotteena saadaan lisäksi 600 tonnia etikkahappoa. Furfuraali myydään öljy-, petrokemiallisen ja muoviteollisuuden raaka-aineksi. Tuotannossa syntyvä hydrolyysijäte käytetään toistaiseksi polttoaineena, mutta muitakin mahdollisuuksia selvitetään.

Puuraaka-aineen tarve on vuodessa 67 000 i-m<sup>3</sup> koivuhaketta. Keväällä 1974 alulle pantujen kokeitten pohjalta on huomattava osa raaka-aineesta korvattu pienikokoisesta, osittain markkinakelvottomasta koivupuusta saadulla kokopuuhakkeella. Lähiajan tavoitteena on yksinomaisesti kokopuuhakkeen käyttöön siirtyminen.

Kokopuuhakkeen käyttöön liittyvistä teknisistä vaikeuksista suurimmat aiheutuvat norjista vitsamaisista oksankärjistä, joita jää runsaasti pienikokoisesta koivusta valmistettavaan kokopuuhakkeeseen. Siiloihin muodostuu oksasiltoja, jotka holvaavat hakkeen ja vaikeuttavat syöttöä. Tavanomaiset seulat eivät toimi tyydyttävästi oksanpätkien erottelemiseksi. Ongelma on tarkoitus ratkaista murskaimella, joka saadaan tehtaalle lähiaikoina.

Tuoreen kokopuuhakkeen kosteus on veraten korkea. Jotta valmistusprosessin höyrynkulutus ja furfuraalisaanto olisivat optimaalisissa, on hake esikuivattava noin 30 %:n kosteuteen tuorepainosta laskettuna. Tämä tapahtuu siten, että hakesiilon pohjalla olevan reikälevyn läpi puhalletaan ilmaa, jonka lämpötila on 80–100°C. Parhaillaan selvitetään rasiinkaadon käyttömahdollisuuksia kokopuuraaka-aineen kosteuden alentamiseksi jo metsässä ehkä 35 %:n tasolle.

Tehtaan keskimääräinen furfuraalisaanto on tavanomaisella koivukuitupuulla 9–10 % kuiva-aineesta laskettuna. Kokopuuhaketta käytettäessä ei saannossa ole havaittu merkittävää muutosta. Myöskään tuotteen laatu ei ole muuttunut (MATTELMÄKI 1975).



## 11. KOKOPUUNKÄYTÖN KEHITYSNÄKYMÄT

Puuraaka-aineen niukkuus, kustannuspaine ja odotettavissa oleva työvoimapula pakottavat metsäteollisuuden eri puolilla maailmaa etsimään uusia puunkorjuuratkaisuja (vrt. YOUNG 1973 ja 1974). Vaikeudet tulevat kärjistyneimpinä esiin pienpuun korjuussa. Kokopuunkäyttö tuo helpotusta kaikkiin näihin ongelmiin, ja siksi se saattaa onnistuessaan osoittautua vuosikymmenemme merkittävimäksi kehitystapahdumaksi puun korjuun ja käytön alalla.

Kokopuunkäyttö sai alkunsa Yhdysvalloista, missä jo vuoden 1973 päättyessä 50 tehdaslaitosta säännöllisesti käytti kokopuuhaketta osaraaka-aineenaan. Käytännöllisesti katsoen kaikki Pohjois-Amerikan suuret metsäteollisuusyritykset lienevät ainakin kokeiluvaiheessa.

Kokopuuhakkureitten lukumäärä oli Pohjois-Amerikassa vuoden 1972 päättyessä 60, vuoden 1973 päättyessä 140 ja vuoden 1974 päättyessä yli 300. Tämän raportin ilmestyessä kesällä 1975 lienee määrä yli 400, mutta lähitulevaisuudessa tulee metsäteollisuuden lama jarruttamaan kokopuunkäytön leviämistä. Nykykalustolla tyydytetään ehkä 2 % Yhdysvaltain massa- ja kuitulevyteollisuuden raaka-aineesta. Vuoteen 1985 mennessä osuuden ennustetaan nousevan 10 %:iin (vrt. KEAYS ja HATTON 1974).

Eurooppa on kokopuunkäytön alalla 2–4 vuotta Yhdysvalloista jäljessä. Pisimmällä lienee tutkimus- ja kehitystyö Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistettiin tähän tähtäävä ohjelma jo vuonna 1967. Vuonna 1973 aloitettu SITRAn Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojekti sekä vuonna 1974 liikkeelle lähtenyt Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton hakkuutähdeprojekti luovat kumpikin omalta osaltaan pohjaa puun tarkemmalle hyväksikäytölle.

Suomessa, kuten muissakin pohjoismaissa, metsäteollisuus uskoo kokopuunkäytön mahdollisuuksiin. Metsäntutkimuslaitoksen, Oy Keskuslaboratorion, Teknillisen korkeakoulun, Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen, Åbo Akademien sekä eri teollisuuslaitosten pitkäaikaiset kokeet ovat useimmissa tapauksissa päätyneet myönteisiin tuloksiin. Kun konkreettisenä esi-

merkkinä on lisäksi kokopuunkäytön läpimurto Yhdysvalloissa ja viimeksi myös Kanadan massa- ja levyteollisuudessa, ovat maamme metsäteollisuuden asenteet vaikeasta markkinatilanteesta huolimatta tällä hetkellä varsin positiiviset kokopuunkäyttöä kohtaan. Tämä on erityisen merkittävää siitä syystä, että pikemminkin kuin tuotteen laadun heikentymisestä tai prosessiteknisistä vaikeuksista on kokopuuraaka-aineen hyväksymisen todettu Yhdysvalloissa viime kädessä olleen sittenkin kiinni asenteista.

SITRAn Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin puitteissa keväällä 1974 järjestetyn kokopuun käyttömahdollisuuksia koskeneen tiedotuskampanjan päätyttyä suoritti Metsäteho mielipidetiedustelun metsäteollisuusyritysten suhtautumisesta kokopuuraaka-aineen korjuu- ja käyttömahdollisuuksiin. Korjuuta koskevat kysymykset osoitettiin metsäosastojen johto- tai kehittämishenkilöille, käyttöpuolen kysymykset vastaavasti tekniselle johdolle tai suunnitteluhenkilöille. Vastanneista 22 yrityksestä kaikkiaan 20 ilmoitti olevansa kiinnostunut kokopuuhakkeen käytöstä. Kysymykseen, miten paljon kokopuuhaketta tehdaspää – korjuuteknologian sen salliessa – on valmis käyttämään vuonna 1979, saatiin 17 yrityksen vastauksena yhteensä 1 270 000 kuivatonna eli lähes 10 milj. i-m<sup>3</sup> (ELOVAINIO 1974). Metsäteollisuutemme on siis valmistautumassa kokopuuhakkeen käyttöön. Monilla tehtailla kokopuunkäytön aloittaminen kytkeytyy laajennushankkeisiin, jolloin toiminta aktivoituu vasta laajentumisen myötä. Jollei tähän suoda mahdollisuuksia, kehitystyö saattaa lukiutua paikoilleen.

Ruotsissa, missä puupula on nuorempi ilmiö kuin meillä, kokopuututkimukset ovat vauhdittuneet viimeksi kuluneen vuoden aikana voimakkaasti. Vuoden 1975 alussa perustettiin siellä valtiovalnan ja teollisuuden yhteisesti rahoittama Helträdsutnyttjande-projekti, jonka käyttövarat yhteensä kolmen vuoden pituiselle toimintakaudelle ovat 7–10 milj. Ruotsin kruunua. On arvioitu, että kokopuunkäyttö saattaa kannot ja juuretkin mukaan luettuina tuoda 10



Kuva 43. Pienpuun kaato- ja kasaustyö on edelleen koneellistamatta.  
*Figure 43. Felling and bunching of small-sized trees is still not mechanised.*



Kuva 44. Kokonaisten puitten korjuun vaikein ongelma on kasaus  
*Figure 44. The most difficult problem in harvesting small-sized full trees is bunching.*

vuoden kuluttua vuosittain 10 milj. k-m<sup>3</sup> kuorellista lisäraaka-ainetta Ruotsin metsäteollisuudelle (Sammanfattning. .1975). Niinikään Norjassa on käynnistynyt vastaavanlainen projekti, joka 1–2 miljoonan Norjan kruunun kustannusarvion puitteissa keskittyy Norjalle ominaisten erikoisongelmien selvittämiseen.

Ruotsissa arvioidaan, että kokopuuhaketuksen piiriin soveltuvaan markkinakelvotonta puuraaka-ainetta on vuosittain tarjolla pelkästään taimistojen perkaus- ja raivausaloilla 9 milj. k-m<sup>3</sup>. Ensiharvennusleimikoissa ja muutoin toteuttamatta jäävissä muissa harvennushakkuissa on kokopuuhaketta saatavissa vastaavasti 25 milj. k-m<sup>3</sup>, josta nyt käytettävien perinteisten tavaralajimenetelmin saadaan talteen vain 50–60 % (BYGREN ja LIDBERG 1975).

Kokopuunkäyttö on leviämässä myös muihin maihin. Amerikkalaisia kokopuuhakkureita on toimitettu ainakin Ranskaan, Saksan Liittotasavaltaan, Italiaan, Etelä-Amerikkaan ja Afrikkaan. Myös SEV-järjestön jäsenmaat, erityisesti DDR, Neuvostoliitto, Puola ja Tšekkoslovakia, ovat erittäin kiinnostuneita kokopuunkäytöstä.

Kokopuunkäytön välittömän aloittamisen jarruna on meillä laajennushankkeitten jäädyttämisen lisäksi tällä hetkellä korjuukaluston puuttuminen. Amerikkalaiset koneet ovat meidän työmaillemme usein liian järeitä, ja Suomen oloihin suunniteltuja koneita ei ole ketjun kaikkiin vaiheisiin vielä riittävästi saatavilla.

Konepajateollisuudellemme osoitettu vetoisuus ottaa kokopuuhaketusketjujen korjuukoneet samoin kuin kokopuuhakkeen tehdaskäsitelyssä tarvittavat koneet pikaisesti tuotekehittelyynsä on kuitenkin vähitellen johtamassa tulokseen.

Kehittelyä vaativia kohteita ovat edelleen kokonaisten pienten puitten kaadon, kasauksen, lähikuljetuksen ja haketusvaiheen korjuukoneet sekä hakkeen tai kokonaisten puitten kuljetuskalusto. Etenkin kaato vakiovarusteisella moottori- tai raivaussahalla ja kasaus ovat muodostumassa koko menetelmän heikoksi lenkiksi, sillä käsin suoritettuina nämä työvaiheet ovat ergonomisesti rasittavia, eikä miestyön tuottavuus ole tyydyttävä (kuva 43 ja 44). Kehitteillä on kuitenkin työtä helpottavia moottori- ja raivaussahan lisälaitteita samoin kuin pienpuun kaato-kasauskoneita.

Tehdasväessä tulisi kokopuuhakkeen erikoisominaisuudet ottaa huomioon hakkurien, murskainten, kuljettimien, seulojen ja muitten lajitteilulaitteitten sekä toisaalta prosessi- ja tuotekehittelyssä. Suuren haasteen muodostaa esimerkiksi kokopuuhakkeen lajittelu keittojakeeseen, polttoaineeseen sekä kemialliseen, biokemialliseen tai rehuteollisuuteen ohjautuvaan tekniseen vihermassaan. Koneitten ja menetelmien soveltuminen myös kokopuuraaka-aineen korjuuseen ja käsittelyyn tulee lähitulevaisuudessa olemaan valtti maailman markkinoilla.

## KIRJALLISUUTTA

- ALA-HEIKKILÄ, ESKO. 1968. Harvennuspuun korjuu haketusmenetelmällä. Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunta. Moniste.
- ALA-HEIKKILÄ, ESKO. 1969. Harvennushakkuitten koneellistaminen – olisiko hakemenetelmästä apua? Metsä ja Puu n:o 6.
- ALESTALO, AARO. 1973. On the possibilities of the utilization of needles and bark. Working Group on Forest Biomass. Nancy, France.
- ALESTALO, AARO ja HENTOLA, YRJÖ. 1966. Sulfaattisellua havupuiden kuorellisista latvuksista, oksista ja kannoista. Paperi ja Puu n:o 12.
- ANDERSSON, STIG. 1974. Tillvaratagande av klenvirke, avverkningsavfall och stubbar. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Ekonomi Nr. 10.
- AROLA, RODGER A. 1973. Compression debarked chips from a whole-tree chipper. USDA Forest Service. Research Note NC-147.
- AROLA, RODGER A. and ERICKSON, JOHN R. 1973. Compression debarking of wood chips. USDA Forest Service. Research Paper NC-85.
- AROLA, RODGER A. and HILLSTROM, WILLIAM A. 1972. Compression debarking of spruce and pine branchwood from Finland. Manuscript.
- AUCHTER, RICKHARD J. and HORN, RICKHARD A. 1973. Economics of kraft pulping of unbarked wood. Paper Trade Journal. June 1973.
- BAKKEN, ARNE. 1973. Veitransport av hele traer fra tynninger. Notat. Transportutvalget.
- BAKKEN, ARNE. 1974. Transportkostnad for hele traer med lengde inntil 12 m. Notat. Transportutvalget.
- BAKKEN, ARNE og WEFALD, OLE JØRGEN. 1974. Forsøk med veitransport av hele traer. Rapport. Transportutvalget.
- BILTONEN, FRANK E., ERICKSON, JOHN R. and MATTSON, JAMES A. 1974. A preliminary economic analysis of whole-tree chipping and bark removal. Forest Products Journal No 3.
- BYGREN, KARL-GUNNAR och LIDBERG, BO. 1975. Produktion av grönflis – en översikt. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse Nr 2/1975.
- GHEN, T.-Y. und PAULITSCH, M. 1974a. Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Biomasse-Waldhackschnitzeln. Mitt. der Bad. – Württ. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt. Heft 62.
- CHEN, T.-Y. und PAULITSCH, M. 1974b. Inhaltstoffe von Nadeln, Rinde und Holz der Fichte und Kiefer und ihr Einfluss auf die Eigenschaften daraus hergestellter Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 32: 397–401.
- CHEN, T.-Y., PAULITSCH, M. und SOTO, G. 1971. Zur Verwendung der oberirdischen Biomasse aus Fichtendurchforstungen als Rohstoff für Spanplatten. Summary: On the suitability of the biological surface mass from spruce thinnings as raw material for particle board. Holz als Roh- und Werkstoff 30: 15–18.
- DANIELSEN, GUNNAR. 1975. Produksjon av grønnflis med transportable flishoggere. Summary: Production of green chips with transportable chipping machines. Norsk Institutt for Skogforskning. Driftsteknisk Rapport Nr. 13: 15–34.
- ELOVAINIO, AARNE. 1974. Kokopuuhaakkeen korjuu ja käyttö. Selostus tiedustelusta. Metsäteho. Ei julkaistu – Unpublished.
- ESKILSSON, STAFFAN. 1972. Whole tree pulping. Part 1. Fibre properties. Svensk Papperstidning 75: 397–402.
- ESKILSSON, STAFFAN. 1973. Whole tree pulping. Part 2. Sulphate cooking. Svensk Papperstidning 76: 63–70.
- ESKILSSON, STAFFAN. 1974. Whole tree pulping. Part 3. Pulp properties. Svensk Papperstidning 77: 165–174.
- ERICKSON, JOHN R. 1973. Whole-tree chipping and residue utilization. Working Group on Forest Biomass, Nancy, France.
- GISLERUD, OLAV. 1974a. Heltreutnyttelse. V. Lagring av heltreflis. Summary: Whole tree utilization. V. Storing of whole tree

- chips. Norsk Institutt for Skogforskning. Skogteknologisk avdeling. Rapport 5/74.
- GISLERUD, OLAV. 1974b. Heltreutnyttelse IV. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjørk og or. Summary: Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch and alder. Norsk Institutt for Skogforskning. Skogteknologisk avdeling. Rapport 6/74.
- GÖTZE, H., GÜNTHER, B., LUTHARDT, H.u.B. und SCHULTZE-DEWITZ, H. 1972. Eigenschaften von Astholz der Kiefer für die Herstellung von Spanplatten. Holztechnologie 2: 80–87.
- HAKKILA, PENTTI. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54.4.
- HAKKILA, PENTTI. 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). Lyhennelmä: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 71.5.
- HAKKILA, PENTTI. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Lyhennelmä: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75.1.
- HAKKILA, PENTTI. 1973. Puutavaran kuljetus hakkeena. Sahamies n:o 3.
- HAKKILA, PENTTI. 1974a. Kokopuun käyttö Yhdysvalloissa vuoden 1973 päätyessä sekä sen sovellutusmahdollisuudet Suomessa. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto. Sarja B, n:o 13.
- HAKKILA, PENTTI. 1974b. Framtida utvecklingen i användningen av virke. Seminar om framtidige oppgaver innen nordisk landbruksforskning. Nordisk Kontaktorgan for Jordbruksforskning. Oslo.
- Hakkuutätehteen talteenoton seurannaisvaikutukset. 1974. Summary: By-effects of the harvesting of logging residues. Folia Forestalia 210.
- Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunta. 1972. Harvennuspuun korjuu. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahaston projekti. Helsinki.
- Heinolan Faneritehdas Zachariassen & Co. 1974. Tutkimusselostus. Tilaus n:o 53/74. Heinola. Ei julkaistu – Unpublished.
- HELGE, KJELL. 1974. Trefiberplatter. Råstoffkvalitet – vannforurensning. Prisrelasjoner. Papirindustriens Forskningsinstitutt. Ei julkaistu – Unpublished.
- HOSIA, MATTI, LINDHOLM, CARL-ANDERS, TOIVANEN, PEKKA och NEVALAINEN, KAUKO. 1971a. Undersökningar rörande utnyttjandet av barrträdsgränar som råmaterial för kemisk massa och hård fiberskiva. I. Tiivistelmä: Tutkimuksia havupuun oksien käytöstä sellun ja kovakuitulevyn raaka-aineena. I. Paperi ja puu n:o 2.
- HOSIA, MATTI och KORTELAJAINEN, VELI-ANTTI. 1971b. Undersökningar rörande utnyttjandet av barrträdsgränar som råmaterial för kemisk massa och hård fiberskiva. II. Tiivistelmä. Tutkimuksia havupuun oksien käytöstä sellun ja kovakuitulevyn raaka-aineena. Paperi ja Puu n:o 12.
- IEVINŠ, I.L., GALVĀNS, U.I., DAUGAVIETIS, M.O. and KEVINŠ, J.J. 1973. Utilization of needles and leaves in the USSR. Working Group on Forest Biomass. Nancy, France.
- ILVESSALO, YRJÖ. 1972. Suomen metsät. Tulokset vuosina 1921–1924 suoritettusta valtakunnan metsien arvioimisesta. Summary: The forests of Suomi (Finland). Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921–24. Communicationes ex Instituto Questionum Forestalium Finlandiae 11.
- ILVESSALO, YRJÖ. 1956. Suomen metsät vuosista 1921–1924 vuosiin 1951–53. Summary: The forests of Finland from 1921–24 to 1951–53. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 47.1.
- KAHALA, MIKKO. 1969. Tutkimus puutavaran valmistukseen vaikuttavista tekijöistä. Summary: A study of the factors influencing the cutting of timber. Metsäteho. Julkaisu n:o 44.
- KAHALA, MIKKO. 1974. Erikokoisten kuormatraktoreiden tuotostaso. Summary: The output level of forwarders of different sizes. Metsätehon tiedotus 334.
- KAHALA, MIKKO. 1975. Puutavaran hakkuu ja metsäkuljetus kokopuina Kemihaaran alalalueella. Metsäteho. Seloste 1/1975.
- KEAYS, J.L. 1971. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part II: Foliage. Forest Products Laboratory. Canadian Forestry Service. Information Report VP-X-70.

- KEAYS, J.L. 1974. Full-forest harvesting. The source of tomorrow's chips. Julkaisematon käsikirjoitus – An unpublished manuscript.
- KEAYS, J.L. and HATTON, J.V. 1974. Full-forest utilization: Part I. World wood supplies and the implications of full-forest utilization. Julkaisematon käsikirjoitus – An unpublished manuscript.
- KEAYS, J.L. and BARTON, G.M. 1975. Recent advances in foliage utilization. Canadian Forestry Service. Information Report VP-X-137.
- Kemihaaran allasalueen puuston korjuu ja raivaus. Raivaustyöryhmän raportti. 1974. Ei julkaistu – Unpublished.
- KILKKI, PEKKA and PÖKÄLÄ, RAIMO. 1975. A long-term timber production model and its application to a large forest area. Lyhenelmä: Pitkän ajan puuntuotantomalli ja sen sovellutus Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueelle. Acta Forestalia Fennica 143.
- KUUSELA, KULLERVO. 1974a. Metsätalous teollistuvassa Suomessa. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto. Sarja B, n:o 12.
- KUUSELA, KULLERVO. 1974b. Kokopuurunkona ensisijaisesti korjattavissa olevan puuston määrä ja sijainti. Monistettu lehdistötiedote.
- KUUSELA, KULLERVO. 1974c. Metsäpolitiikan energiapolitiittinen tausta. Kansallis-Osake-Pankin Taloudellinen Katsaus n:o 3.
- LAJUNEN, PERTTI. 1975. Kuitulevytehdaspään hakkuutähdeprojektin osatutkimus. Ei julkaistu – Unpublished.
- LANDEGGER, CARL C, HARTLEY, CLIFF and WAWER, ADOLF. 1975. Whole-tree chips. Present status-future outlook. Konferens Sk 1. Elmia 75. Jönköping.
- LAUNDRIE, J.F. and FAHEY, D.J. 1973. Kraft pulps and hardboards from short-rotation sycamores. Paper Trade Journal, February 12.
- LIIRI, OSMO, KIVISTÖ, ANTTI ja LAINE, LAURI. 1972. Vihreä hake lastulevyn raaka-aineena. Summary: Branches and whole trees as raw material for particle board. Paperi ja Puu n:o 10: 593–609.
- LÖNNBERG, BRUNO. 1975. Lyhytkiertopuiden käyttömahdollisuudet massa- ja paperiteollisuudessa. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 1213.
- MATTELMÄKI, E. 1975. Kokemuksia kokopuuhakkeen käytöstä furfuraalin valmistuksessa. Ei julkaistu – Unpublished.
- Metsä- ja uittoalan työehtosopimus ja sen mukaiset m<sup>3</sup>-perusteiset metsätyöpalkkojen taulukot. Palkkausalue 4. 1974. Helsinki.
- MIKKOLA, PERTTI. 1972. Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta Suomessa. Summary: Proportion of waste wood in the total cut in Finland. Folia Forestalia 148.
- MIKKONEN, ESKO, PELTONEN, JAAKKO, SAVOLAINEN, RAIMO ja VESIKALLIO, HEIKKI. 1975. Puunkorjuun kehityssuunnuste. Metsätehon tiedotus 336.
- MIKKONEN, ESKO ja TYNKKYNYNEN, MARTTI. 1974. Tvigg-prosessori. Metsätehon katsaus 17/1974.
- MÄLKÖNEN, EINO. 1972. Hakkuutähteitten talteenoton vaikutus männikön ravinnevaroihin. Summary: Effect of harvesting logging residues on the nutrient status of Scots pine stands. Folia Forestalia 157.
- MÄLKÖNEN, EINO. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84.5.
- MÖLLER, FRITZ. 1975. Lastbiltransport af heltrae fra nåletraestyndinger. Skogteknisk Institut.
- MÖLLER, FRITZ og BAKKEN, ARNE. 1975. Lastbiltransport af hele traer fra nåletraestyndinger. Summary: Truck transport of whole conifer trees from thinnings. Norsk Institutt for Skogforskning. Driftsteknisk Rapport Nr. 13: 93–98.
- NORDLINDER, B.G. 1974. Försök med "Nya råvaror". Enkel sammanfattning. ASSI. Utvecklingslaboratoriet. Djursholm. Ei julkaistu – Unpublished.
- NYKVIST, NILS. 1974. Växtnäringsförkluster vid helträdsutnyttjande. Helträdsutnyttjande: 73–93. Skogshögskolan, institutionen för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser Nr 76.
- PALENIUS, ILPO. 1974. Marginal raw materials in pulp manufacture. Tiivistelmä: Marginaaliraaka-aineet massanvalmistuksessa. Paperi ja Puu n:o 3.
- PATT, R. and GECK, R. 1973. Faserplatten aus Durchforstungsholz und Schlagabraum. Holz-Zentralblatt. Nr 84.
- PENSAR, GÖRAN och HANNUS, KAI. 1970. Extraktivämnen i barr. Åbo Akademi. Institutionen för träkemi och cellulosateknik.

- PENSAR, GÖRAN och HANNUS, KAI 1973. Silvichemicals in technical foliage. I. Water steam distilled oil from pine material. Paperi ja Puu n:o 7.
- RIBE, JOHN H. 1973. Puckerbrush weight tables. Life Sciences and Agriculture Experiment Station. University of Maine at Orono. Miscellaneous Report 152.
- RICE, JAMES T. 1973. Particleboard from "silage" sycamore. Laboratory production and testing – Forest Products Journal, n:o 2: 29–34.
- RUOSTE, TEEMU. 1972. Kokopuuhaketus harvennuspuun korjuumenetelmänä. Metsä ja Puu. N:o 1: 27–29.
- Sammanfattning av delbetänkande. 1973 års skogsutredning. Skogen Nr 3: 112–114.
- SAVOLAINEN, RAIMO. 1974. Puunkorjuumenetelmät ja korjuutekniset olosuhteet hankintavuonna 1973/74. Metsätehon katsaus 23/1974.
- SELBY, ASHLEY. 1974. Afforestation of arable land in Finland. Agricultural background and recent developments. Lyhennelmä: Peltojen metsitys Suomessa: maataloudellisia taustatietoja ja viimeaikaisia kehityssuuntia. Käsikirjoitus – An unpublished manuscript.
- SELLAEG, MATHIAS. 1974. Grønn flis fra grantynninger i trefiberplateindustrien. Summary: Green chips of spruce from thinnings for use in fiberboard industry. Driftsteknisk Rapport Nr 12: 103–116 fra Norsk Institutt for Skogforskning.
- SELLAEG, MATHIAS og GISLERUD, OLAV. 1972. Grønn granflis fra tynninger til produksjon av trefiberplater. Summary: Green chips from thinnings for use in fibreboard production. Driftsteknisk Rapport Nr 11: 423–432 fra Norsk Institutt for Skogforskning.
- SELLAEG, MATHIAS, KUCERA, BOHUMIL og MENGKROG, ØYSTEIN. 1972. Flishogging av bjørkevirke for produksjon av sponplatter. Summary: Chipping of birch for particle board production. Driftsteknisk Rapport Nr 11: 433–444 fra Norsk Institutt for Skogforskning.
- SIRÉN, GUSTAF. 1973. Protein ur skogsträd. Summary: Protein from forest trees. Svensk Naturvetenskap 1973: 41–46.
- SIRÉN, GUSTAF. 1975. Hyggesavfallets borttagande och skogsodlingsresultat. Skogen nr 1.
- SIRÉN, GUSTAF, BLOMBÄCK, BIRGER and ALDEN, TORSTEN. 1970. Proteins in forest leaves. Skogshögskolan. Institutionen för skogsförnyring. Rapporter och Uppsatser Nr 28.
- STARCK, P. ja PALENIUS, I. 1970. Kuorineen ja neulasineen haketetun harvennuspuun käyttökelpoisuus sulfaattimassan valmistukseen. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 1005. Ei julkaistu – Unpublished.
- STATKOV, N., MATEJEV, A., MARINOV, T. ja STOIKOV, Hr. 1970. Dresni otpadsi pri setsta i perspektivi za tjahnoto izpolzuvane. Zemizdat. Sofia.
- STUROS, JOHN A. 1973a. Predicting segregation of wood and bark chips by differences in terminal velocities. USDA Forest Service. Research Paper NC-90.
- STUROS, JOHN A. 1973b. Segregation of foliage from chipped tree tops and limbs. USDA Forest Service. Research Note NC-146.
- STUROS, JOHN A. 1973c. Rotary screening to remove bark and foliage in the field. Northern Logger and Timber Processor. May.
- SÖDERSTRÖM, VADIM. 1974. Hur inverkar hyggesavfallets borttagande på planteringsresultatet? Helträdsutnyttjande: 94–116. Skogshögskolan, institutionen för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser. Nr 76.
- USOLTSEV, V.A. 1971. Berjozovye sutsja – syrjo ddlja proizvodstva drevesnostruzetsnyh plit. Informator LatNIILHP. Riga.
- UUSVAARA, OLLI. 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of sawmill chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75.4.
- UUSVAARA, OLLI. 1974. Teollisuudessa käytettävän sahanpurun ominaisuudet. Summary: Properties of saw dust utilized in industry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 83.1.
- VESIKALLIO, HEIKKI. 1974. Retkeilymetsän metsänkäyttörajoitusten aiheuttamat puunkorjuun lisäkustannukset. Summary: The increase in timber harvesting cost as a result of forest utilization limitations in a forest used for recreational purposes. Helsingin yliopiston maankäyttökonomian laitos. Julkaisuja n:o 1.
- VIRKOLA, N-E. 1974. Kuorellinen puu sulfaattisellun valmistuksen raaka-aineena. Esitelmä SPIY:n syyskokouksessa Helsingissä. Ei julkaistu – Unpublished.
- VIRO, P.J. 1955. Investigations on forest litter.

- Lyhennelmä: Metsäkariketutkimuksia. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 45.6.
- VORONICYN, K.I. ja PAVLOV, V.P. 1968. Ispol'zovanie othodov lesosagotuvok dlja proizvodstva drevesnyh plit. FAO/ECE/LOG/208. Joint Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers. Seventh session. Warsaw.
- VUORELAINEN, O. 1959. Puu polttoaineena ja puun polttolaitteet. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisu n:o 49,
- YOUNG, HAROLD E. 1973. Complete tree utilization. Pulp and Paper No. 13.
- YOUNG, HAROLD E. 1974. Complete tree concept: 1964-1974. Fiber Conservation and Utilization Seminar, Chicago, Illinois.







- No 197 Erkki Lähde & Kaarlo Kinnunen: Paperikennon ja turveruukun seinän lujuus ja taimien alkukehitys Pohjois-Suomessa.  
The relationship between the wall strength of paper and peat pots and the initial development of seedlings in Northern Finland. 2,—
- No 198 Esko Jaatinen: Metsäteollisuusyhtiöiden omien metsien hakkuupolitiikan motiivit.  
Timber cutting motives of forest industry enterprises. 4,—
- No 199 Esko Leinonen: Purunäytteeseen perustuvasta kuivapainomittauksesta.  
Dry-weight scaling based on chip samples. 3,—
- No 200 Pentti Hakkila & Markku Mäkelä: Jatkokutkimuksia Pallarin kantoharvesterista.  
Further studies of the Pallari Stumpharvester. 2,—
- No 201 Matti Leikola & Risto Rikala: Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmailla.  
The effect of fertilization on the initial development of pine and spruce on mineral soils. 2,—
- No 202 Paavo Tiihonen: Leimikon pystymittauksen tarkistaminen.  
Zur kontrolle einer am stehenden zum Einschlag ausgezeichneten Holz durchgeführten Messung. 2,—
- No 203 Seppo Kaunisto: Männyn kylvöajankohta ojitetulla suolla.  
Date of direct seeding on drained peatlands. 3,—
- No 204 Pentti Hakkila & Hannu Kalaja: Oksaraaka-aineen kasaus Melroe Bobcat M-600 kuormaajalla.  
Bunching of branch raw material by Melroe Bobcat M-600 loader.
- No 205 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1971—73.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1971—73. 5,—
- No 206 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista 2 päivänä toukokuuta 1969 annetun päätöksen muuttamisesta.  
Skogsforkningsinstitutets beslut angående ändring av institutets beslut av den 2 maj 1969 om omvandlingskoefficienter och kuberingsstabeller för virkesmätning. 8,—
- No 207 Kullervo Kuusela ja Alli Salovaara: Etelä-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Itä-Savon metsävarat vuonna 1973.  
Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Karjala, Pohjois-Savo, Keski-Suomi and Itä-Savo in 1973 4,—
- No 208 Tapani Hänninen: Harvennusemetsien puustoisuus ja hakkuumahdollisuudet Suomen eteläpuoliskossa.  
The stocking and cutting possibilities in the thinning and accretion forests in the southern half of Finland 4,—
- No 209 Heikki Nikkilä: Ratapölkkytukkien kuutiointi.  
Measurement of railwaytie-logs. 1,50
- No 210 Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset.  
By-effects of the harvesting of logging residues. 2,50.
- No 211 Paavo Tiihonen: Mäntypylväiden kuutioimismenetelmä.  
Eine Kubierungsmethode für Kiefernastholz 2,—
- No 212 Kaarlo Kinnunen, Juha Lind ja Erkki Lähde: Eri ajankohtina istutettujen männyn kennotaimien alkukehitys Pohjois-Suomessa.  
Initial development of Scots pine paper pot seedlings planted on different dates in northern Finland. 3,—
- No 213 Kullervo Etholén: Kaatoajankohdan vaikutus koivun ja haavan vesionemiseen taimistonhoitoaloilla Pohjois-Suomessa.  
The effect of felling time on the sprouting of *Betula pubescens* and *Populus tremula* in the seedling stands in northern Finland. 2,—
- No 214 Veijo Heiskanen ja Jorma Riikonen: Tukkien lajittelu sahaukseen kuoren päältä mitatun läpimitan perusteella.  
Sorting of logs according to the top diameter on bark. 4,—
- No 215 Pertti Harstela ja Sauli Takalo: Kokeita oksaraaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta.  
Experiments on loading and transportation of branch raw material. 1,50
- No 216 Gunnar Wilhelmsen: Puutavaran käsittely. 7,—.
- No 217 Pentti Rikonen: Koivuvaneritukkien kuutiointi. 1,50.  
Calculation of the volume of birch veneer logs.
- No 218 Pentti Nisula: Makroilmaston vaikutus varastoidun pinotavaran painoon.  
Effect of macroclimate on the weight of stored cordwood. 2,50
- No 219 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1972—74.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1972—74. 6,—
- No 220 Pentti Nisula: Eräs herbisidien levityslaitte.  
An apparatus for the application of herbisides. 2,50
- 1975 No 221 Simo Penttilä ja Jouko Hämäläinen: Päiväansio ja työn tuotos urakkapalkkaisessa istutustyössä 1972.  
Daily earnings and work output in piece rate planting in Finland 1972. 4,—
- No 222 Veli-Pekka Jarveläinen: Yksityismetsänomistajien metsätaloudellinen käyttäytyminen.  
Forestry behaviour of private forest owners in Finland 20,—
- No 223 Jan Heino: Finlands stadsägda skogar betraktade speciellt ur friluftssynvinkel. 5,—

## METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Metsätieteiden tutkimusosasto

Puutalouden tutkimussuunta

Luettelo jatkuu 4. kansisivulla

- No 224 Pentti Hakkila: Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuut-  
teitten määrä.  
Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root  
wood. 1,50
- No 225 Metsätalastollinen vuosikirja 1973.  
Yearbook of forest statistics 1973.
- No 226 Bo Långström: Eräiden insektisidien testaus tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L.  
(Col., Curculionidae), tuhojen torjumiseksi.  
Testing of some insecticides for the control of damages caused by the large pine  
weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). 1,50
- No 227 Veijo Heiskanen: Kuitupuun latvaläpimitaan perustuva työmittausten menetelmä ("pölkky-  
menetelmä").  
A wage- payment measuring method based on pulpwood top diameter (Bolt method).  
4,—
- No 228 Pentti Nisula: Liikkuva sadetuslaitteisto.  
Revolving Sprinkler. 3,—
- No 229 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkonen: Sahatukkien todellisen kiintomitan määrit-  
tämismenetelmät.  
Methods for the measurement of softwood sawlogs. 3,—
- No 230 Aulikki Kauppila ja Erkki Lähde: Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsä-  
maan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa.  
On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. 3,—
- No 231 Olli Uusvaara ja Kari Löytyniemi: Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv.,  
Col., Scolytidae) aiheuttaman vivotuksen vaikutus sahatavaran laatuun ja arvoon.  
Effect of injury caused by the ambrosia beetle (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col.,  
Scolytidae) on sawn timber quality and value. 1,50
- No 232 Seppo Ervasti ja Kullervo Kuusela: Suomen metsätase vuosina 1965—72 ja metsä-  
tallisuuden raaka-ainenäköymät vuoteen 2000.  
Forest balance of Finland in 1965—72 and the prospects of industrial wood until  
2000. 1,50
- No 233 Jouko Laasasenaho: Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan  
katkaisuläpimitasta.  
Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-  
logging diameter. 2,—
- No 234 Olli Uusvaara ja Veijo Heiskanen: Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadun-  
määritys Suomessa.  
Preparation, handling, measurement and quality determination of sawmill chips in  
Finland. 3,—
- No 235 Jyrsintämuokkaus ja lannoitus männyn ja kuusen kylvön yhteydessä turvemaalla.  
Rotavation and fertilization in connection with direct seeding of Scots pine and Norway  
spruce on peat greenhouse experiments 1,50
- No 236 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Kuitupuupinon kiintotilavuuden määrittästä koskevia  
tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuun, järeä kuitupuun sekä likipituinen havukuitupuun.  
Studies on the determination of the solid volume of a pulpwood pile. Crooked  
broadleaved pulpwood, large-sized pulpwood and coniferous pulpwood of approximate  
length. 3,—
- No 237 Markku Mäkelä: Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus.  
Bunching and transportation of branch raw material. 2,—
- No 239 Eero Paavilainen: Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikossa.  
On the response to fertilizer application of Norway spruce growing on peat. 1,—
- No 240 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Markku Mäkelä: Kokopuunkäyttö pienpuuongelman  
ratkaisuna.  
Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized tress. 8,—
- No 241 Victor Ipatiev & Eero Paavilainen: Lannoituksen vaikutuksen kesto aika vanhassa  
tupasvillarämeen männikössä.  
Duration of the effect of fertilization in an old pine stand on a cottongrass pine  
swamp. 1,50.
- No 242 Pertti Harstela: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen vyöhykekasausmenetelmää  
käytettäessä.  
The effect of bunching into zones on productivity and strain of the worker cutting  
pulpwood. 2,—
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen.  
Learning of grapple loading. 4,—

Mvnti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, p. 645 121  
Merkintä ODC tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää