

FOLIA FORESTALIA 261

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1976

EERO LEHTONEN

PIENPUUN KAATO MOOTTORI- JA
RAIVAUSAHOIHIN PERUSTUVILLA
LAITTEILLA

FELLING OF SMALL-SIZED TREES WITH
FELLING DEVICES BASED ON THE CHAIN
SAW AND CLEARING SAW

- 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: Herbisidirakeiden männyn- ja kuusentaimille aiheuttamista kuorivioituksista.
On bark damages caused to Scots pine and Norway spruce plantations by granular herbicides. 2,—
- No 195 Metsätalastollinen 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 kylmästratifiointin vaikutus männyn siemenen itämiseen. 2,—
- 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: Puronäytteeseen perustuvasta kuivapainomittauksesta.
Dry-weight scaling based on chip samples. 3,—
- No 200 Pentti Hakkila & Markku Mäkelä: Jatkotutkimuksia 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 an 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. Skogsforskningsinstitutets beslut angående ändring av institutets beslut av den 2 maj 1969 om omvandlingskoefficienter och kuberingstabeller 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.
Bv-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 vesomiseen 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,—

Eero Lehtonen

PIENPUUN KAATO MOOTTORI- JA RAIVAUSSAHOIHIN
PERUSTUVILLA LAITTEILLA

Felling of small-sized trees with felling devices based on
the chain saw and clearing saw

ALKUSANAT

Tämä tutkimus kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osaston pienpuun korjuumenetelmien kehitysohjelmaan, jonka tavoitteena ovat raaka-aineen talteenoton tehostaminen, ihmistyön keventäminen, tuotoksen kohottaminen ja korjuukustannusten alentaminen.

Metsäteknikko SIMO JAARANEN, Valtimon metsäkonekoulu ja metsänhoitaja KLAUS RANTAPUU, Valmet Oy; rakennusmestari TAPIO SAARENKETO, Vesihallitus sekä kenttäimestari SAULI TAKALO, Metsäntutkimuslaitos, ovat laitekehittelijöinä tuoneet oman arvokkaan panoksensa korjuumenetelmien kehittämiseen. Sekä Jaarasan ja Rantapuun että Takalon laite on kehitetty Metsäntutkimuslaitoksessa ensi mainittujen keksijöiden vielä ollessa laitoksen palveluksessa. Ensi mainitun laitteen jatkokehittelyihin on osallistunut myös metsäteknikko HANNU KALAJA Metsäntutkimuslaitoksesta ja työnopastaja PENTTI KRUISE Enso-Gutzeit Oy:stä.

Tutkimusaineisto kerättiin Enso-Gutzeit Oy:n työmaalla Imatralla keväällä 1975.

Kenttätöiden onnistumiseen vaikuttivat ratkaisevalla tavalla metsänhoitaja ILKKA KALLIO, työnjohtaja REIJO RIIVARI sekä tekemiehinä olleet työnopastaja PENTTI KRUISE ja metsätyömies REINO PARVIAINEN Enso-Gutzeit Oy:stä.

Maastoaineiston keruusta vastasivat metsäharjoittelijat HEIKKI LAIHANEN ja TAPIO NEVALAINEN, jotka myös osallistuivat HuK KAIJA KANNISEN ohella tulosten laskentaan.

Oy Husqvarna Ab ja Oy Elfving Ab luovuttivat sahoja tutkimuskäyttöön.

Konekirjoituksen hoiti neiti RAIJA SIEKINEN. Piirrookset ovat neiti TARJA BJÖRKLUNDIN työtä.

Käsikirjoituksen tarkastivat professorit PENTTI HAKKILA ja VEIJO HEISKANEN, sekä metsät.tri. PERTTI HARSTELA. Kaikille edellämainituille lausun parhaat kiitokseni.

Helsingissä tammikuussa 1976

Eero Lehtonen

SISÄLLYSLUETTELO

| | Sivu |
|---|------|
| ALKUSANAT | 1 |
| SUMMARY | 3 |
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| 1. JOHDANTO | 5 |
| 11. Yleistä | 5 |
| 12. Aiempia tutkimuksia | 5 |
| 2. TUTKIMUSMENETELMÄ | 6 |
| 21. Aikatutkimus | 6 |
| 22. Tulosten laskenta | 6 |
| 3. AINEISTO | 6 |
| 4. TUTKIMUSTULOKSET | 9 |
| 41. Puukohtainen kaato- ja katkonta-aika | 9 |
| 42. Kaato- ja katkonta-aika kuutiometriä kohden | 13 |
| 43. Työn tuotos | 14 |
| 431. Laskentaperusteet | 14 |
| 432. Tuotos | 15 |
| 44. Kaatotyön ja -laitteiden ergonomiasta | 19 |
| 5. TULOSTEN TARKASTELUA | 21 |
| KIRJALLISUUTTA | 22 |
| LIITTEET | 25 |

SUMMARY

The purpose of this work was to study labour-intensive methods of felling small-sized trees and felling devices when harvesting the raw material by whole-tree methods. Comparison of the devices was based on empiric material, that of the methods mainly on surveys of the literature. Five felling devices (Fig. 1–5) were compared. Two of them, the Jaaranen & Rantapuu (2) and Takalo (4) devices, were developed for the most part at the Finnish Forest Research Institute. The following methods calling for directed felling were compared:

- 1a Felling without bunching
- 1b Felling without bunching + cross-cutting
- 2a Felling+ moving butts together
- 2b Felling + moving butts together + cross-cutting
- 3a Felling + bunching
- 3b Felling+ bunching+ cross-cutting

The main results were:

- The conventional power saw, the Jaaranen & Rantapuu device and Takalo's device are equal in output when methods which do not presuppose bunching are used. The output for the different methods with the above devices are presented in Fig. 8.
- The clearing saw and Saarenketo's device are generally inferior to other devices for they are not suitable for cross-cutting in particular.
- When bunching is added to felling (methods

3a, 3b) devices based on the clearing saw are poorly suited to the work.

- If the quantity of so-called brushwood is great, the advantage of devices based on the clearing saw is improved.
- Work is safest when devices based on the clearing saw are used. However, the difference is not great compared with the Jaaranen & Rantapuu and Saarenketo devices (Figs. 11 and 12).
- The conventional power saw is the poorest as regards both working position and work safety, especially for clearing (Figs. 10, 13 and 14).
- The main areas of use of devices based on the clearing saw and those based on the power saw differ. The difference is accentuated when the clearing saw-related devices are equipped with accessory apparatus, for instance for spraying herbicides on the stumps.
- The Jaaranen & Rantapuu device is the most suitable for all the felling methods discussed in the study (Table 4). Takalo's device is equal to it for some methods. Takalo's device is probably the best in special cases – when there is much clearing wood, spraying of herbicides on the stumps. The conventional power saw is inferior to the above-mentioned devices specifically for ergonomic reasons.

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään ihmistyövaltaisia pienpuun kaatomenetelmiä ja -laitteita silloin, kun raaka-aine korjataan talteen kokopuumenetelmillä. Laitteiden vertailu suoritettiin empiirisen aineiston pohjalta. Menetelmien vertailu perustettiin lähinnä kirjallisuustarkasteluihin. Vertailtavana oli viisi kaatolaitetta (kuvat 1. . . 5), joista kaatolaite m. Jaara-

nen & Rantapuu (2) sekä Takalon laite (4) on pääosin kehitetty Metsäntutkimuslaitoksessa, ja seuraavat suunnattua kaatoa edellyttävät menetelmät:

- 1a Suomukaato
- 1b Suomukaato + katkonta
- 2a Kaato + tyvien siirtely yhteen
- 2b Kaato + tyvien siirtely yhteen + katkonta

3a Kaato + kasaus

3b Kaato + kasaus + katkonta

Päätulokset ovat seuraavat:

- Normaali moottorisaha, Jaarasen & Rantapuun laite ja Takalon laite ovat tuotokseltaan samanveroiset, kun on kyse menetelmistä, jotka eivät edellytä kasausta. Tuotos eri menetelmissä em. laitteille on esitetty kuvassa 8.
- Raivaussaha ja Saarenkedon laite ovat yleensä muita huonommat, sillä varsinkaan katkaisuun ne eivät sovi.
- Kun kaatotyöhön liitetään myös kasaus (menetelmät 3a, 3b) raivaussahapohjaiset laitteet soveltuvat työhön huonosti.
- Jos ns. raivauspuun määrä on suuri raivaussahaan perustuvien laitteiden edullisuus paranee.
- Työ on turvallisinta raivaussahaperustaisilla laitteilla. Ero Jaarasen & Rantapuun ja Saa-

renkedon laitteisiin ei kuitenkaan ole suuri (kuvat 11 ja 12).

- Tavallinen moottorisaha on sekä työasennoltaan että työturvallisuudeltaan kehnoin, erityisesti raivauksessa (kuvat 10, 12 ja 14).
- Raivaussahaan perustuvien ja moottorisahapohjaisten laitteiden pääkäyttöalueet ovat erilaiset. Ero korostuu, kun raivaussahapohjaiset laitteet varustetaan lisälaitteilla esim. kantohormonin levitystä varten.
- Kaikkiin tutkimuksessa esitettyihin hakkuumenetelmiin soveltuu parhaiten Jaarasen & Rantapuun laite (taulukko 4). Takalon laitetta voi eräissä menetelmissä pitää samanveroisena. Erikoistapauksissa – paljon raivauspuuta, kantojen myrkytys – Takalon laite lienee paras. Tavallinen moottorisaha on em. laitteisiin verrattuna kehno nimenomaan ergonomisten seikkojen takia.

1. JOHDANTO

11. Yleistä

Pienikokoisen puuston kohoavat korjuukustannukset ja raaka-aineen niukkuus ovat johtaneet perinteellisen runkopuun korjuun ohella kokonaisten puiden talteenottoon. Korjuu voidaan tällöin ulottaa puihin, jotka eivät täytä tavaralajimenetelmän minimiläpimittavaatimuksia.

Pienten puiden kaadon koneellistaminen on ratkaisematta. Puut kaadetaan toistaiseksi ihmisvoimin tavanomaisella moottorisahalla. Pelkkä kaato on kumaran työasennon vuoksi raskasta. Järeälle puulle tarkoitettu moottorisaha on pienpuun kaatotyöhön tarpeettoman tehokas ja raskas. Kevyet sahat soveltunevat mainittuun työhön paremmin.

Viime aikoina on sekä moottori- että raivaussahan pohjalta kehitelty pienpuun kaatolaitteita, jotka mahdollistavat kaadon seisaaltaan selkää suorana. Kehitystyö käynnistyi Metsäntutkimuslaitoksessa jo vuonna 1971. Tässä tutkimuksessa vertaillaan kaatotyon ajanmenekkiä ja tuotosta käytettäessä näitä laitteita ja normaaliavarusteista ns. kevytsahaa.

12. Aiempia tutkimuksia

Pienpuualan toimikunta teki aikanaan ura-uurtavaa työtä tämän tutkimuksen aihepiiriin läheisesti liittyvissä kysymyksissä. Lukuisista julkaistuista selvityksistä käsillä olevan työn kannalta kiintoisimpia ovat MAKKOSEN (1960, 1961) ja KAHALAN (1962) tutkimukset polttohakerankojen teosta. MAKKONEN mm. vertailee vesurin, moottorisahan ja ketjuterällä varustetun raivaussahan käyttöä ja toteaa moottorisahan olleen käyttökelpoisin. Ketjuterällä varustettu saha ei ollut vesuria edullisempi.

Kaatotyötä tavaralajimenetelmää käytettäessä ovat tutkineet mm. AGER (1967), SAMSET ym. (1969), KAHALA ja RANTAPUU (1970) sekä HARSTELA (1971). Pelkkää kaatoa runkojen teossa ovat puolestaan selvittäneet AGER

(1964), KAHALA (1970) sekä HARSTELA ja VALONEN (1972). Kaatotyo on osoittautunut kuormittavuudeltaan karsintaan verrattavaksi. Sahan kannattelusta kumarassa asennossa saattaa aiheutua poikkeuksellista rasistusta tukielimiin, erityisesti selkään, Lisäksi pelkkä kaato on työpsykologiselta kannalta yksitoikkoista. Tärinä-, melu- ja pakokaasuallistus ovat pelkässä kaadossa suuremmat kuin tavaralajimenetelmässä. Mainitut tutkimukset koskevat jo ainespuun mitat täyttävää rinnankorkeudelta yli 10 cm:n ja käyttöosan tilavuudeltaan yli 25 dm³ n puus- toa ja poikkeavat siten käsillä olevasta tutkimuksesta.

Pienikokoisen puuston kaatotutkimuksista voidaan mainita HEINON ym. (1973) selvitys vesurin ja raivaussahan käytöstä taimiston perkauksesta. Raivaussaha osoittautui edullisemmaksi. KAHALA (1975) toteaa, että kun aina 3 cm:n läpimittaiset puut kaadetaan kuitupuun kokaisen puuston kaadon yhteydessä nousee ajanmenekki järeysluokassa J 1 (alle 0.012 m³) kuituoyksikköä kohti laskettuna 40 % kun alle kuitupuun mittaisten runkojen osuus on 50 % järeysluokan runkoluvusta ja 80 % kun osuus on 100 % verrattuna ainoastaan kuitupuun mitat täyttävän puuston kaatoon. HARSTELA ym. (1975) vertailivat pystyasennossa kaadon mahdollistavalla lisälaitteella varustettua moottorisahaa ja pyöröterän sijasta teräketjulla varustettua raivaussahaa männyn taimiston korjuussa. Osoittautui, että yli 4 cm:n puilla kaatolaite on nopeampi ja vähemmän kuormittava. Alle 3.5 cm:n puulla taas raivaussaha on edullisempi. HARSTELA ym. (1975) toteavat vielä, että molemmat tutkitut laitteet ovat työasennoiltaan ja työturvallisuudeltaan parempia kuin tavallinen moottorisaha. Puun koon kasvaessa kaatolaite osoittautui kuormittavuudeltaan pienemmäksi. HAKKILA ym. (1975) selvittivät pienpuun kaato- ja kasautyön tuotosta erilaisissa kokopuuhaketusketjuissa. Kaatolaitteena oli tavanomainen moottorisaha.

RUMPUSEN (1975) selvityksessä pienikokoisen lepän korjuusta kokopuuna tutkittiin tavanomaisen moottorisahan ohella kokeilun-

omaisesti ns. pien- ja kevytsaaha sekä edellä mainittua moottorisahan lisälaitetta. Kevytsaha osoittautui vakiosahan veroiseksi. Tuotos lisälaitteella varustetulla kevytsahalla ei myöskään oleellisesti poikennut vakiosahalla saavutetusta

tuotoksesta. HARSTELA ja TERVO (1975) vertailevat kaato- ja kasaustyön tuotosta eri kokoisissa taimikoissa ja riukuasteen metsiköissä. Puut kaadettiin em. lisälaitteella varustetulla moottorisahalla.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ

21. Aikatutkimus

Aikatutkimuksessa rekisteröitiin kaikista rinnantasalta yli 2 cm puista puulaji, D_{1.3}, tuuli, kasvutapa sekä kaato- ja katkonta-ajat. Tuulen vaikutus luokiteltiin seuraavasti:

- 1 = myötätuuli, helpotti kaatoa
- 2 = tyyni
- 3 = vastatuuli, vaikeutti kaatoa

Kasaustavan mukaan puut jaettiin yksin tai samasta kannosta ryhmänä kasvaviksi.

Kaatoaika alkoi teräketjun koskettaessa puuta ja päättyi, kun puu oli nurin. Siirtyminen ja kaadon valmistelu jäivät siten mittauksen ulkopuolelle.

Katkonta-aika alkoi teräketjun koskemisesta puuhun ja päättyi kun puu oli poikki. Silloin tällöin tapahtuva katkaisun mahdollistava karsinta sekä siirtyminen katkaisukohtaan sisältyvät katkonta-aikaan.

22. Tulosten laskenta

Kustakin läpimittaluokasta mitattiin koepuita, joista selvitettiin tilavuuden laskemista varten kanto- ja rinnankorkeusläpimitan lisäksi läpimitat joka täydeltä metriltä sekä pituus.

Laskennan ensimmäisessä vaiheessa laadittiin koepuiden perusteella tilavuudelle ja kantoläpimitalle rinnankorkeusläpimittaa selittäjänä käytäen regressiomallit.

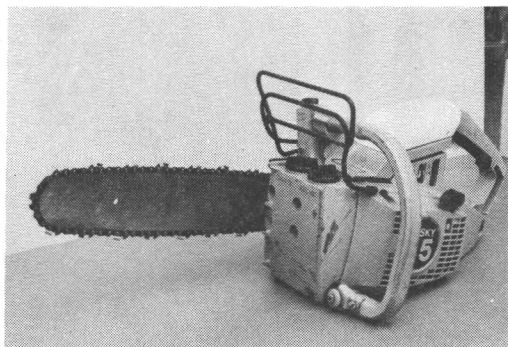
Toisessa vaiheessa laskettiin em. yhtälöillä kullekin kaadetulle puulle tilavuus ja kantoläpimitta. Tämän jälkeen aineistosta selvitettiin tekomiehittäin kullekin kaatolaitteelle kaato- ja katkonta-ajan riippuvuus puulajista, läpimitoista, kasvutavasta sekä tuulesta. Vastaavasti laskettiin vielä ajanmenekki kiintokuutiometriä kohden.

3. AINEISTO

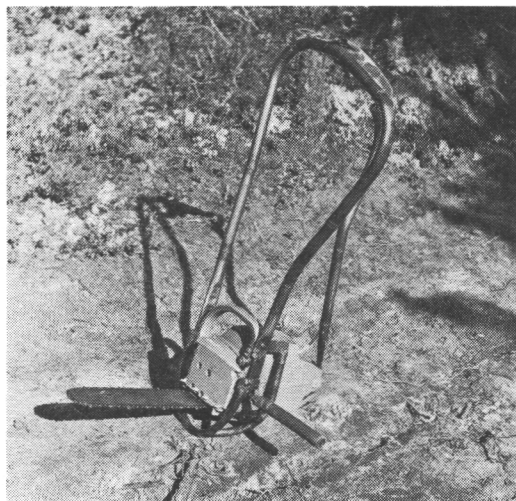
Tutkimusaineisto kerättiin Enso-Gutzeit Oy:n haketustyömaalla Imatralla. Kaadettava puusto oli pienikokoista leppää ja hieskoivua.

Tekomiehinä oli kaksi Enso-Gutzeit Oy:n hakuumiestä. Tutkittavana oli seuraavat kaatolaitteet:

| Laite – <i>Felling device</i> | Paino, kg <i>Weight,</i> kg | Teho, kW <i>Effect,</i> kW | (hv) (hp) |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 1. Husky 35-kevytsaha (Kuva 1) – <i>Husky 35 chain saw (Fig. 1)</i> | 4.0 | 1.2 | (1.6) |
| 2. Husky 35+ kaatokahva m. Jaaranen & Rantapuu (Kuva 2) <i>Husky 35 + felling device model Jaaranen & Rantapuu (Fig. 2)</i> | 6.6 | 1.2 | (1.6) |
| 3. Husky 35+ kaatokahva m. Saarenketo (Kuva 3) <i>Husky 35 + felling device model Saarenketo (Fig. 3)</i> | 7.9 | 1.2 | (1.6) |
| 4. Raket RS 52 E-raivaussaha + terälaite m. Takalo (Kuva 4) <i>Raket RS 52 E clearing saw + felling device model Takalo (Fig. 4)</i> | 10.8 | 2.5 | (3.4) |
| 5. Raket RS 601-raivaussaha (Kuva 5) – <i>Raket RS 601-clearing saw (Fig. 5)</i> | 13.4 | 2.9 | (4.0) |



Kuva 1. Husky 35-kevytsaha,
Fig. 1. Husky 35 chain saw.



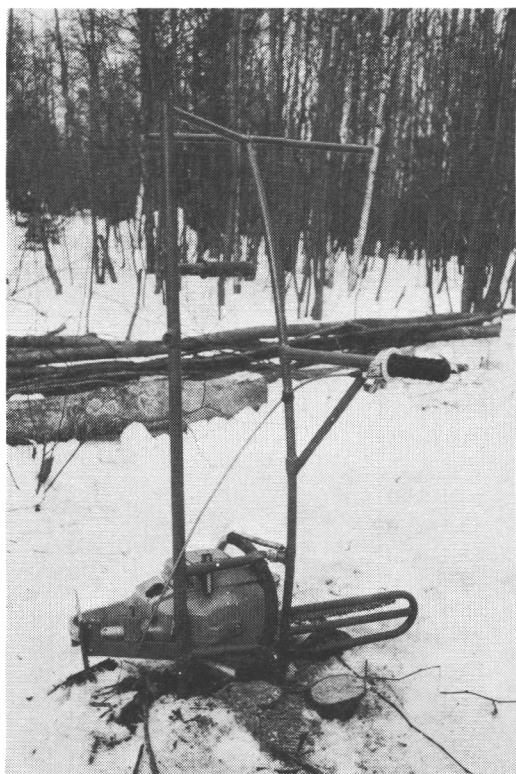
Kuva 2. Kaatolaite m. Jaaranen & Rantapuu.
Fig. 2. Felling device model Jaaranen & Rantapuu.

Kaatolaitteessa n:o 2 saha on asennettu kiinteästi kahvarakenteeseen. Kaasuliipasin on oikean käden kädensijassa. Puu kaadetaan kuten tavallisella moottorisahalla mutta pystyssä seisten. Laite on sama kuin HARSTELAN ym. (1975), RUMPUSEN (1975) ja HARSTELAN ja TERVON (1975) tutkimuksissa käytetty. Siitä käytetään myöhemmin lyhyiden vuoksi nimeä Jaarasan laite.

Laitteessa n:o 3 saha on asennettu varsinaiseen kahvarunkoon nivellettyihin kiinnikkeisiin. Kaadettaessa sahaa liikutetaan vasemmasta kädensijasta. Puuta ja koko kahvaa työnnetään oikeasta kädensijasta, johon on sijoitettu kaasuliipasin. Laite tuetaan kahvarungon yläosassa olevien puuhun iskettävien piikkien varaan. Jäljempänä sitä kutsutaan Saarenkedon laitteeksi. Se kehitettiin alunperin Pohjois-Suomen oloihin harvahkon, pääasiassa heikkolaatuista lehtipuuta olevan jätepuuston kaatamiseen.

Laitteessa n:o 4 raivaussahan pyöröterä on korvattu lyhyellä laipalla ja teräketjulla. Ratkaisulla pyritään helpottamaan kaadon suuntausta ja raivauspuuta paksumman puuston kaatoa normaaliin raivaussahaan verrattuna. Sama terälaite oli HARSTELAN ym. (1975) tutkimuksessa. Ketjuterällä varustettua raivaussahaan sanotaan myöhemmin Takalon laitteeksi.

Kuva 3. Kaatolaite m. Saarenketo.
Fig. 3. Felling device model Saarenketo.





Kuva 4. Kaatolaite m. Takalo.
Fig. 4. Felling device model Takalo.



Kuva 5. Raket RS 601 -raivaussaha. (Kuva Oy Elfving Ab)
Fig 5. Raket RS 601 clearing saw. (Photo Oy Elfving Ab)

Taulukko 1. Aineiston jakautuminen läpimittaluokkiin.
Table 1. Distribution of felled trees into diameter classes.

| D _{1.3'} , cm Dbh, cm | Koivu – Birch | | | | | | Leppä – Alder | | | | | |
|-----------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|
| | Laite – Device | | | | | Keski- määrin Average | Laite – Device | | | | | Keski- määrin Average |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | Osuus havainnoista, % – Proportion of observations, % | | | | | | | | | | | |
| –3.0 | 7 | 17 | 8 | 3 | 5 | 9 | 6 | 20 | 7 | 12 | 6 | 12 |
| 3.1–5.0 | 24 | 25 | 35 | 7 | 21 | 22 | 24 | 32 | 22 | 21 | 12 | 23 |
| 5.1–7.0 | 34 | 20 | 16 | 34 | 37 | 30 | 29 | 25 | 32 | 32 | 43 | 31 |
| 7.1–9.0 | 16 | 14 | 22 | 24 | 18 | 17 | 21 | 16 | 23 | 21 | 30 | 22 |
| 9.1–11.0 | 10 | 13 | 14 | 17 | 9 | 12 | 10 | 5 | 11 | 9 | 6 | 8 |
| 11.1–13.0 | 7 | 6 | 5 | 12 | 10 | 8 | 6 | 1 | 5 | 4 | 2 | 3 |
| 13.1–15.0 | 2 | 5 | 0 | 3 | 0 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Yhteensä Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Aineisto käsittää kaikkiaan 2631 kaadettua puuta (liite 1). Rinnankorkeusläpimitta vaihteli 3. .14 cm:iin ja kantoläpimitta 4. .18 cm:iin. Vastaavat keskimääräiset läpimitat olivat 7.1 ja 8.8 cm. Rungon tilavuus vaihteli 0.5. .70 dm³:iin keskitilavuuden ollessa 18.6 dm³. Laitteesta 3 on vähiten aineistoa.

Aineisto jakautui rinnankorkeusläpimitan mukaisesti taulukon 1 mukaan.

Havaintoja on aina 10 cm:n läpimittaluokan puihin asti riittävästi. Jakautumat ovat keske-

nään samantapaiset. Poikkeuksena Takalon laitteesta (4) koivun kaadossa kerättyjen havaintojen painopiste on suuremmissa läpimittaluokissa kuin muiden. Lepän kaadossa laitteista 2 ja 4 kerättyjen havaintojen painopiste taas näyttää olevan muita pienemmissä läpimittaluokissa.

Noin viidennes koivuista ja kymmenesosa lepistä täytti perinteisen minimirinnankorkeusläpimitan 9 cm.

4. TUTKIMUSTULOKSET

41. Runkokohtainen kaato- ja katkonta-aika

Kaatoajan mallit muodostuivat valikoivalla regressioanalyysillä seuraaviksi.

| | Laite Felling device | | 100 · R ² |
|-----|----------------------------|--|----------------------|
| (1) | 1. | $Y = 0.1059 x_1^2 + 6.0 x_7 - 2.1 x_3 + 5.4$ | 49.5 |
| (2) | 2. | $Y = 0.1157 x_1^2 + 8.1 x_7 - 2.2 x_3 - 2.5 x_5 + 1.1 x_2 + 4.7$ | 56.6 |
| (3) | 3. | $Y = 0.1530 x_1^2 - 3.3 x_3 - 1.6 x_2 + 6.4$ | 63.7 |
| (4) | 4. | $Y = 0.1208 x_1^2 + 8.3 x_7 - 4.5 x_5 - 2.0 x_2 + 4.3$ | 53.1 |
| (5) | 5. | $Y = 0.2175 x_1^2 - 3.0 x_3 + 1.9 x_4 - 0.6$ | 65.3 |

Y = Kaatoaika, cmin/puu – Felling time, cmin/tree

x_1 = $D_{1,3} - Dbh$

x_2 = Tekomies, arvo = 1, jos mies 2, muuten 0

Logger, value = 1, if logger 2, otherwise value = 0

x_3 = Puulaji, arvo = 1, jos puu leppä, muuten 0

Tree species, value = 1, if alder, otherwise value = 0

x_4 = Kasvutapa, arvo = 1, jos puu ryhmässä, muuten 0

Way of growing, value = 1, if the tree is in a group, otherwise value = 0

x_5 = Tuuli, arvo = 1, jos vastatuuli, muuten 0

Wind, value = 1, if wind against, otherwise value = 0

Kaikkien malleissa olevien muuttujien regressiokertoimet poikkeavat enintään 1 % riskillä nollasta. Rinnankorkeusläpimitta selittää kaatoajan hajontaa kaikilla laitteilla. Sen poistaminen malleista alentaisi selityasteet 3. .20 %:iin. Ajanmenekki riippuu rinnankorkeusläpimitasta voimakkaimmin Saarenkedon laitteilla (3) ja raivaussahalla (5). Viimemainitulla tämä on seuraus siitä, että laite on tarkoitettu hyvin pienikokoisen puun suuntaamattomaan kaa-

toon, jossa pyöröterä on käyttökelpoinen. Puulaji selittää ajanmenekkiä muilla paitsi laitteella 4. Leppä on yhtälöiden mukaan 2.1. .3.3 cmin nopeampi kaadettava kuin koivu.

Tuulen vaikutus on ollut merkittävä laitteiden 1, 2 ja 4 ajanmenekissä. Myötätuuli on nopeuttanut kaatoa keskimäärin 2.5. .4.5 cmin ja vastatuuli hidastanut sitä 6.0. .8.3 cmin tyyneen sähän verrattuna.

Tekomies on vaikuttanut tilastollisesti mer-

Taulukko 2. Regressiomuuttujien suhteen tasoitettut kaatoajat.
 Table 2. Felling times, adjusted in relation to regression variables.

| Laite Device | Alkuperäinen kaatoaika Original felling time | | Tasoitettu kaatoaika – Adjusted felling time | | | | | | | |
|-----------------|---|-----|--|-----|-------------------------------|-----|-------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| | | | Tekomies 1 – Logger 1 | | | | Tekomies 2 – Logger 2 | | | |
| | | | Koivu – Birch | | Leppä – Alder | | Koivu – Birch | | Leppä – Alder | |
| | cmin/ puu cmin/ tree | % | cmin/ puu cmin/ tree | % | cmin/ puu cmin/ tree | % | cmin/ puu cmin/ tree | % | cmin/ puu cmin/ tree | % |
| 1 | 10.8 | 100 | 11.5 | 100 | 9.4 | 100 | 11.5 | 100 | 9.4 | 100 |
| 2 | 8.8 | 81 | 11.2 | 97 | 10.2 | 109 | 11.8 | 103 | 10.8 | 115 |
| 3 | 11.1 | 103 | 14.9 | 130 | 11.6 | 123 | 14.0 | 122 | 10.7 | 114 |
| 4 | 10.0 | 93 | 11.1 | 97 | 11.1 | 118 | 10.4 | 90 | 10.4 | 111 |
| 5 | 9.4 | 87 | 11.2 | 97 | 8.3 | 88 | 11.2 | 97 | 8.3 | 88 |

kitsevästi laitteissa 2, 3 ja 4, joista ensimmäisellä on mies 2 ja jälkimmäisillä mies 1 ollut hitaampi.

Koepuuaineistossa vallitsi seuraava rinnankorkeus- ja kantoläpimitan välinen riippuvuus:

$$(6) \text{ Koivu – Birch } D_k, \text{ cm} = 1.17 D_{1.3} + 1.6$$

$$(7) \text{ Leppä – Alder } D_k, \text{ cm} = 1.06 D_{1.3} + 1.2$$

D_k = Stump diameter

$D_{1.3}$ = Dbh

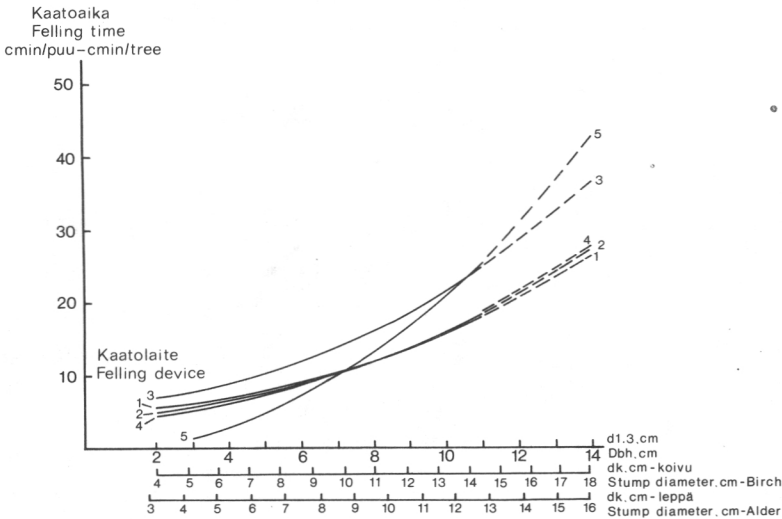
Koivun tyvilaaientuma on samassa rinnankorkeusläpimitaluokassa suurempi kuin leppän. Esimerkiksi 7 cm:n rungossa puulajien ero on 1.2 cm. Tämä saattaa vaikuttaa puulajien välisen kaatoajan eroon.

Kun laitekohtaiset keskiarvot tasoitetaan malleissa olevien regressiomuuttujien suhteen tasolle

$$D_{1.3} = 7.1 \text{ cm}$$

kasvutapa = kannosta vain yksi puu

sää = tyyni



Kuva 6. Kaatoajan riippuvuus puun koosta.
 Fig 6. Felling time as a function of breast height diameter.

saadaan luvut (taulukko 2), jotka esitetyn periaatteen mukaisesti on puhdistettu regressio-muuttujien vaihtelusta. Korjattujen arvojen läh- tökohtana on laitekohtainen totaalikeskiarvo, koska yhtälöitä ei laskettu puulajeittain.

Saarenkedon laite (3) on selvästi hitain koivun kaadossa, muiden ollessa keskenään samantasoisia. Lepän kaadossa Jaarasan (2), Saarenkedon (3) ja Takalon laite (4) ovat keskenään samantasoisia, moottori- ja raivaus- saha taas näitä nopeammat. Kokonaisuutena katsoen on laite 3 katsottava hitaimmaksi ja raivaussaha nopeimmaksi muiden ollessa keske- nään samantasoisia. Esitetty keskiarvotarkastelu pätee rinnankorkeusläpimitaltaan 7 cm:n puilla. Kun kaikissa regressiomalleissa on rinnankor- keusläpimita selittäjänä on kaatoaika syytä tarkastella sen funktiona.

Kuvassa 6 on esitetty kaatoajan riippuvuus läpimitasta kun tekemies = 1, kasvutapa ja sää ovat vakioita kuten edellä. Käyrät on piirretty koivulle. Laitteiden 1, 2 ja 4 välillä ei ole oleellista eroa missään läpimittaluokassa. Saa- renkedon laite (3) on kauttaaltaan em. laitteita n. 30 % hitaampi. Raivaussaha (5) on puoles- taan aina 7 cm:n puihin asti nopeampi kuin laitteet 1, 2 ja 4 ja suuremmissa läpimittalu- oissa selvästi näitä hitaampi. Läpimitan voima- kas vaikutus raivaussahalla johtuu siitä, että pyöröterä yli 7 cm:n puita sahattaessa antaa voimakkaita taakse ja sivullepäin suuntautuvia potkuja, jotka hidastavat työtä. Lisäksi kaadon suuntaus on vaivalloista ja epäonnistuu helposti. Kaadon suuntauksessa on vaikeuksia myös Tak- alon laitetta (4) käytettäessä verrattuna moot- torisahaan (1), Jaarasan (2) ja Saarenkedon (3) laitteisiin, sillä suunnattu kaataminen edellyttää kurkottelua, jotta puuta ylettyy kaatosahauk- sen jälkeen työntämään. Normaaliin raivaus- sahaan verrattuna Takalon laitteella kaadon suuntaus onnistui paremmin. Takalon laitteella kaatoaika on sama kuin Jaarasan laitteella ja moottorisahalla, huolimatta hieman hankalam- masta työntämisvaiheesta kaadossa. On mah- dollista, että työntekijä kompensoi hankaluutta suuremmalla ponnistuksella. Ei tunnu toden- näköiseltä, että itse kaatosahausnopeudessa olisi eroa.

HARSTELAn ym. (1975) mukaan Takalon laite (4) on Jaarasan laitetta (2) hitaampi yli 3.5 cm:n puilla männyn taimiston korjuussa. Tällaista ei tässä tutkimuksessa voida todeta. Tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia

koska HARSTELA on lukenut siirtymisen mu- kaan kaatoaikaan. Siirtyminen tiheässä taimis- tossa on Takalon laitetta käytettäessä laitteen ulottuvuuden vuoksi hankalampaa kuin Jaarasan laitetta siirreltessä, jolloin HARSTELAn totea- ma laitteiden välinen ero on osittain siirtymis- hankaluuden aiheuttama. Lisäksi raivaussaha oli heikkotehoinen ja suurempien puiden sahaus- sessa esiintyi tärinää, mikä osaltaan selittää riippuvuutta läpimitasta.

Saarenkedon laitteella (3) kaadon suuntaus onnistuu erinomaisesti, kuten myös RUMPU- NEN (1975) toteaa. Laitetta on kuitenkin hankala käsitellä, asettaa puulle ja siirtää, mistä aiheutuu kuvan 6 mukainen ero laitteisiin 1, 2 ja 4 verrattuna. Lisäksi kahvarungon yläosan piikeillä on taipumus takerrella oksiin ja risui- hin. Työtekniikka laitetta käytettäessä lienee vaikeahko oppia, joten verraten lyhyen kouliin- tymisajan takia tottumattomuus voi olla osa- syynä kaadon hitauteen. Silloin tällöin tapah- tuva katkonta oli laitteella mahdotonta.

RUMPUSEN (1975) tutkimuksessa kaadon runkokohtainen ajanmenekki on ollut yli 8 cm:n puilla pienempi kuin tässä selvityksessä mootto- risahaa käytettäessä. Asiaan vaikuttanee se, että RUMPUNEN käyttää kaatokoealan keskiläpi- mittaa selittäjänä kun tässä tutkimuksessa läpi- mitat ja kaatoajat ovat puukohtaisia. Lisäksi RUMPUSEN selvityksessä käytetty moottori- saha oli tehokkaampi, jolloin rinnankorkeus- läpimitan hidastava vaikutus ei ole niin selvä kuin kevytsahaa käytettäessä. Tavallinen moot- torisaha ja Jaarasan laite eivät RUMPUSEN mukaan poikkea keskituotokseltaan toisistaan. Tämä käy yksiin käsillä olevan tutkimuksen kanssa.

Tekomiesten oli määrä katkaista yli 7 m:n rungot lähikuljetuksen takia. Katkonta toistui varsin harvoin, joten aineisto jäi siltä osin pieneksi.

Keskimääräiset katkonta-ajat ovat:

| Laite Device | Katkonta-aika, cmin/puu Cross-cutting, cmin/tree | D _{1,3} , cm Dbh, cm |
|-----------------|---|----------------------------------|
| 1 | 18.0 | 13.4 |
| 2 | 20.8 | 14.7 |
| 4 | 24.0 | 12.8 |

Katkaisu näyttää sujuvan moottorisahalla no- peimmin. Kaikki erot ovat tilastollisesti merkit- seviä. Jaarasan laitteella (2) puu katkaistaan samoin kuin tavallisella sahalla. Katkonta-ajan

eroa selittää osaltaan katkaistavien puiden kokoro, osaltaan Jaarosen laitteen hieman suurempi käsittelyhankaluus. Katkaistessaan puuta Takalon laitteella (4) hakkuemies joutuu huonoon työasentoon. Sahaa on näet käännettävä 90°, ja kiinnitysvaljaat haittaavat tätä. Samasta syystä katkaisuleikkaus tehdään helposti vinoon, jolloin leikattava pinta kasvaa kohtisuoraan leikkaukseen nähden.

Saarenkedon laitteella (3) ja raivaussahalla (5) ei esiintynyt katkanta-aikoja. Suurten, yli 11 cm:n puiden osuus aineistosta onkin näillä laitteilla ollut pieni. Toisaalta katkaisu laitteella 3 oli lähes mahdotonta ja vaikeaa myös laitteella 5, viimeainitulla pyöröterän vuoksi

vaikeampaa kuin laitteella 4. Ilmeisesti annettuja katkantaohjeita ei laitteilla 3 ja 5 työhankaluuden vuoksi noudatettu.

Katkanta-aika mitattiin vain 2...4 %:lla kaadetuista puista niillä laitteilla, joilla tutkimuksen aikana puuta yleensä katkaistiin. Katkaisun merkitys koko kaatovaihetta silmällä pitäen on siis pieni.

Kuten aiemmin mainittiin, poikkesivat puulajeittaiset samaa rinnankorkeusläpimittaa vastaavat kantoläpimitat toisistaan. Puulajien välisen kaatoajan eron epäiltiin johtuvan tästä. Asian selvittämiseksi laskettiin seuraavat regressiomallit kaatoajalle käyttäen rinnankorkeusläpimitan sijasta selittäjänä kantoläpimittaa:

| | Laite Device | | 100 · R ² |
|------|-----------------|---|----------------------|
| (8) | 1. | $Y = 0.0737 x_8^2 + 5.8 x_7 + 3.4$ | 48.4 |
| (9) | 2. | $Y = 0.0767 x_8^2 + 10.4 x_7 + 2.5 x_6 + 1.2 x_2 - 0.8 x_3 + 1.3$ | 54.8 |
| (10) | 3. | $Y = 0.1154 x_8^2 - 2.0 x_2 + 2.4$ | 65.8 |
| (11) | 4. | $Y = 0.0826 x_8^2 + 8.3 x_7 - 4.6 x_5 - 2.1 x_2 + 1.5 x_3 + 1.1$ | 52.1 |
| (12) | 5. | $Y = 0.1513 x_8^2 + 1.9 x_4 - 4.1$ | 66.9 |

Y = Kaatoaika, cmin/puu – *Felling time, cmin/tree*

x_8 = Kantoläpimita – *Stump diameter*

x_2 = Tekomies, arvo 1, jos mies 2, muuten 0

Logger, value = 1, if logger 2, otherwise value = 0

x_3 = Puulaji, arvo 1, jos puu leppä, muuten 0

Tree species, value = 1, if alder, otherwise value = 0

x_4 = Kasvutapa, arvo 1, jos puu ryhmässä, muuten 0 –

Way of growing, value = 1, if the tree is in a group, otherwise value = 0

x_5 = Tuuli, arvo 1, jos myötätuuli, muuten 0

Wind, value = 1, if fair wind, otherwise value = 0

x_6 = Tuuli, arvo 1 jos tyyni, muuten 0

Wind, value = 1, if calm, otherwise value = 0

x_7 = Tuuli, arvo 1 jos vastatuuli, muuten 0

Wind, value = 1, if wind against, otherwise value = 0.

Yhtälöihin (1)...(5) verrattuna laitteiden 1, 3 ja 5 osalta puulaji ei ole tullut merkitsevänä selittäjänä malliin. Laitteella 2 puulaji on mukana mutta sen regressiokerroin on varsin pieni. Toisin sanoen puulajin vaikutus ajanmenekkiin on hyvin pieni. Tämä tukee sitä olettamusta, että puulajien väliset erot ovat erilaisesta tyvi-laajentumasta johtuvia. Laitteella 4 rinnankorkeusläpimittaa selittäjänä käytettäessä ei puulaji vähentänyt merkitsevästi jäännöshajontaa. Se, että leppä tässä tapauksessa kanto-

läpimittaa selittäjänä käytettäessä näyttää olevan hitaampi kaadettava, johtunee läpimitan ja puulajin melko voimakkaasta korrelaatiosta ($r = -.443$), jolloin regressiokertoimeen ei ole luottamista. Korrelaatiokerroinhan merkitsee sitä että leppä on ollut koivua pienempää, mikä selviää myös taulukosta 1. Kuvaan 6 onkin piirretty rinnankorkeusläpimitan lisäksi asteikot puulajeittaisille kantoläpimitoille, jotka mahdollistavat puulajeittaisen tarkastelun.

42. Kaato- ja katkenta-aika tilavuusyksikköä kohden

Koepuiden perusteella saatiin seuraavat yhtälöt, joilla puut kuutiotiin.

$$(13) \text{ Koivu - Birch } V_{KO} = 8.36 D_{1.3} + 86.3 D_{1.3}^{-1} - 53.3$$

$$(14) \text{ Leppä - Alder } V_{LE} = 0.355 D_{1.3}^2 - 3.0$$

V = Rungon tilavuus, dm^3 - Volume of stem, dm^3

$D_{1.3}$ = Dbh, cm

Kun näillä yhtälöillä jaetaan regressiomalleista (1) .. (5) muokatut yhtälöt (sää tyyni, mies 1, kasvutapa yksittäin) saadaan kuutiyoysikköä

kohti lasketun ajanmenekin riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta:

$$(15) \text{ Laite 1 Koivu - Birch } Y = 10 \cdot (0.1059 D_{1.3}^2 + 5.4) / V_{KO}$$

$$(16) \text{ Device 1 Leppä - Alder } Y = 10 \cdot (0.1059 D_{1.3}^2 + 3.3) / V_{LE}$$

$$(17) \text{ Laite 2 Koivu - Birch } Y = 10 \cdot (0.1157 D_{1.3}^2 + 4.7) / V_{KO}$$

$$(18) \text{ Device 2 Leppä - Alder } Y = 10 \cdot (0.1157 D_{1.3}^2 + 2.5) / V_{LE}$$

$$(19) \text{ Laite 3 Koivu - Birch } Y = 10 \cdot (0.1530 D_{1.3}^2 + 6.4) / V_{KO}$$

$$(20) \text{ Device 3 Leppä - Alder } Y = 10 \cdot (0.1530 D_{1.3}^2 + 3.1) / V_{LE}$$

$$(21) \text{ Laite 4 Koivu - Birch } Y = 10 \cdot (0.1208 D_{1.3}^2 + 4.3) / V_{KO}$$

$$(22) \text{ Device 4 Leppä - Alder } Y = 10 \cdot (0.1208 D_{1.3}^2 + 4.3) / V_{LE}$$

$$(23) \text{ Laite 5 Koivu - Birch } Y = 10 \cdot (0.2175 D_{1.3}^2 - 0.6) / V_{KO}$$

$$(24) \text{ Device 5 Leppä - Alder } Y = 10 \cdot (0.2175 D_{1.3}^2 - 3.6) / V_{LE}$$

Y = Kaatoaika, min/runkopuu- m^3
Felling time, min/ m^3 of stemwood

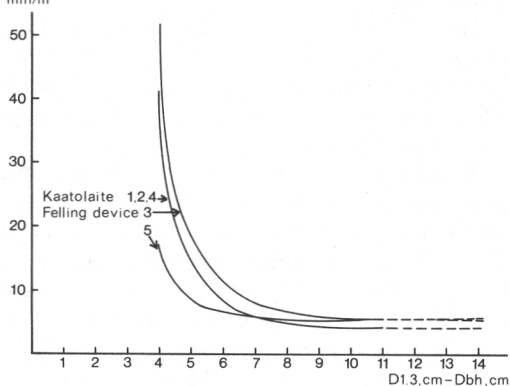
$D_{1.3}$ = Dbh, cm

Kuutiometriä kohden laskettu kaatoaika on laitteilla 1, 2 ja 4 miltei tarkalleen sama (kuva 7). Noin 9 cm:n rinnankorkeusläpimitan vaiheilta alkaen puun järeytymisen ei enää vähennä tilavuusyksikköä kohden laskettua ajanmenekkiä. Raivaussahalla (laite 5) ajanmenekki jopa hieman kasvaa yli 8 cm:n puilla. Saaren-

Kuva 7. Tilavuusyksikköä kohden lasketun kaatoajan riippuvuus puun koosta.

Fig. 7. Felling time per cubic unit as a function of breast height diameter.

Ajanmenekki kaadossa
Time consumption in felling
min/ m^3



kedon laite (3) ja raivaussaha (5) ovat 12 cm:n puilla lähes 50 % hitaammat kuin laitteet 1, 2 ja 4.

43. Työn tuotos

431. Laskentaperusteet

Tuotos lasketaan kuorellisina runkopuukuu- tiometreinä työmaa tuntia kohden. Kuten aiem- min mainittiin, ei siirtymis-, kaadon valmistelu-, kasaus eikä keskeytysaikoja mitattu. Niiden osalta käytetäänkin muista tutkimuksista saa- tuja lukuja.

Siirtyminen

SAMSET ym. (1969) on päätenyt seuraav- aan siirtymisen ajanmenekkiä ennustavaan yhtälöön:

$$Y = 2g + 0.2 e_b \cdot g + 1 \text{ cmin/puu}$$

jossa g = puiden välinen etäisyys ja
 e_b = lumen syvyys

Puiden välin ollessa 1.6...2 m vaihtelee siirty- misaika siten 4.2...5 cmin.

AGER (1970) puolestaan esittää siirtymi- sen ajanmenekille kaavan:

$$t = (4 + 2 S) \cdot b \cdot 1.2 \text{ cmin/puu, jossa}$$

$$S = \text{puiden välinen etäisyys.}$$

Käsillä olevassa tutkimuksessa kaatopisteiden välin arvioitiin olevan 1.6...2 m, joten siirty- misaika olisi em. kaavan mukaan 8.6...9.6 cmin.

HARSTELAN ja VALOSEN (1972) mukaan pelkän kaadon yhteydessä tapahtuvan siirty- misen puukohtainen ajanmenekki on matkalla 1.6...2 m 8.4...9.4 cmin, 6.4...7.4 cmin ja 5.4...6.1 cmin tekomiehestä riippuen.

RUMPUSEN (1975) mukaan siirtymisaika puuta kohti on vaihdellut hakkuumenetelmästä riippuen 2...4 cmin tiheyden ollessa 2500 r/ha ja 0.8...1.2 cmin tiheyden ollessa 4000 r/ha. Tiheydet vastaavat käsillä olevassa tutkimuk- sessa arvioituja puiden etäisyyksiä 1.6...2 m.

Edellä esitetyistä selvityksistä RUMPUSEN (1975) on ainoa, jossa tutkimuksen kohteena

ollut puusto ja työ vastaavat tässä tutkimuk- sessa käsiteltyjä. Näin ollen pääpaino siirtymis- ajan arvioimisessa asetetaan viimeksimaini- tulle selvitykselle. Runkokohtaisena siirtymis- aikana käytetään seuraavassa 5 cmin/runko, joka katsotaan riippumattomaksi läpimitasta ja käytetystä laitteesta, vaikkakin HARSTELAN ym. (1975) selvityksen perusteella voi epäillä laitteen vaikuttavan siirtymisen ajanmenekkiin. Em. aikaan luetaan sisältyväksi myös kaadon valmistelu aika.

K a s a u s

Kasaus pienpuun kaadossa voi olla monen- asteista. Voidaan tyytyä pelkkään ns. suomu- kaatoon, jolloin puita ei siirrellä lainkaan lähem- mäksi toisiaan. Kaadon yhteydessä tyvet voi- daan heittää yhteen sopiviksi kouraisutaakoiksi. Edelleen voidaan kokonaiset puut siirrellä yh- densuuntaisiksi kourakasoiksi itse kaadosta eroavana työvaiheena. Raivaussahaa käytet- täessä varsinainen kasaus onnistuu vain, jos puut kasataan kaatojakson jälkeen erillisenä työvaiheena, jolloin saha on irrottettava kiin- nikkeistään. Pienten, yhdellä kädellä siirreltä- vissä olevien puiden kasaus käy päinsä heittäen ilman laitteen irrottamista. Tämän tutkimuksen maastotöiden valmistuttua on kehitetty vielä ns. siirtelykaatomenelmä, jossa kaato ja ka- saus eivät ole toisistaan erotettavissa. Viimeksi mainittua menetelmää käsitellään myöhemmin vain alustavasti.

Kun tyydytään suomukaatoon, ei kasaus- aikaa tietenkään ole. Tyvien yhteensiirtely ai- heuttaa jo lisäajanmenekkiä suomukaatoon näh- den. RUMPUSEN (1975) mukaan lisäaika on moottorisahakaadossa seuraava.

| Keskiläpimitta | Lisäaika, cmin/runko |
|----------------|----------------------|
| (3) | 1 |
| 4 | 2 |
| 5 | 3 |
| 6 | 4 |
| 7 | 4 |
| 8 | 4 |
| 9 | 5 |
| 10 | 5 |

Moottorisaha, Jaarasan laite ja Saarenkedon laite eivät tyvien yhteensiirtelyn suhteen eronne toisistaan. Sen sijaan raivaussahapohjaisilla lait-

teilla siirtely kaadon yhteydessä saattaa olla hankalaa.

HARSTELA ym. (1975) toteaa, että männyn taimiston korjuussa kasaus on vienyt 16. . . 18 cmin/puu, kun keskimääräinen kasausmatka on ollut n. 7 m. Puut kasattiin erillisenä työvaiheena kaatojakson jälkeen. Kasauksen ajaksi raivaussaha irrotettiin kiinnitysvaljaista. Puun koko on vaikuttanut kasausmatkaan voimakkaasti erityisesti Takalon laitteella, jolla puusto oli keskimäärin pienempää. Puuston suuretessa ja toisaalta tiheässä Jaarasen laite näytti tulevan edullisemmaksi. Tämän katsottiin johtuvan kaadon paremmasta suuntauksesta Jaarasen laitetta käytettäessä.

HARSTELA ja TERVO (1975) toteavat kasausajanmenekin olleen riukuasteen männikössä n. 2150 cmin/m³, joka vastaa tutkitulla puustolla (0.007 m³/runko) n. 13. . . 15 cmin/puu. Kasausmatka lienee ollut 5. . . 7 m. Tekomies oli varsin riuska. Suurehkon taimikon (D_{1.3} = 2.9 cm) kasauksessa puukohtainen ajanmenekki vaihteli 5. . . 11 cmin tekomiehestä riippuen.

KAHALAN (1975) mukaan riippuu kasausaika rungon koosta seuraavasti kun vastaavaa kaatoaikaa merkitään 100 lla.

| Rungon koko, m ³ | Kasausaika, kun kaatoaika = 100 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| . . . 0.012 | 150 |
| 0.013. . . 0.037 | 143 |
| 0.038. . . 0.062 | 137 |
| 0.063. . . 0.087 | 132 |

Kun edellä esitettyä asetelmaa täydennetään pienen puun osalta arvioluvuilla, saadaan seuraava kasausajan riippuvuus puun koosta kasausmatkan ollessa 5 m.

| D _{1.3} | Rungon koko, m ³ | Kasausaika, cmin/puu |
|------------------|-----------------------------|----------------------|
| 2. . . 4 | 0.001. . . 0.003 | 10 |
| 5. . . 6 | 0.003. . . 0.012 | 12 |
| 7. . . 13 | 0.013. . . 0.062 | 22 |
| 14. . . 16 | 0.063. . . 0.087 | 40 |

MAKKOSEN (1959 a) mukaan runkokohmainen kasausaika karsimattoman polttorangan teossa on 0.008 m³ rungolla 22 cmin. Karsittujen polttorankojen kasaus on vienyt 38 cmin runkoa kohden (MAKKONEN 1961 a).

KAHALAN (1962) selvityksessä nopeampi kahdesta hakkuumiehestä on kuluttanut karsitun polttorangan kasaukseen 23, 55 ja 57 cmin/ranka, kun rungon koko on ollut vastaavasti 0.019, 0.044 ja 0.037 m³. Siirtelymatka lienee ollut 5 m. Mainitut vanhemmat tutkimukset osoittavat siis hieman pitempiä siirtelyaikoja kuin nähdään esitetystä asetelmasta. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin em. asetelman lukuja.

Pienikokoisten, alle 3 cm:n puiden, raivaukseen kuluva ajaksi katsotaan tässä tutkimuksessa 2 % kaato- ja siirtelyajasta MAKKOSEN (1960) ja RUMPUSEN (1975) selvityksiin nojautuen.

Katkonta-aikaa ei saatu kovin luotettavasti selvitettyksi. Ohjetta katkaista pitkät puut noudatettiin vain laitteilla 1, 2 ja 4, ja näilläkin vain 20 %:ssa kokonsa puolesta katkaistaviin kuuluvista puista. Tuotoslaskelmassa ei katkonta-aikaa ole laskettu laitteille 3 ja 5, koska niillä ei puita voida katkaista. Katkonta-ajan ja katkaistavien puiden osuuden katsotaan riippuvan läpimitasta seuraavasti.

| D _{1.3} , cm | Katkaisuaika, cmin/puu | Katkaistavien puitten osuus, % |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|
| 11 | 18 | 10 |
| 13 | 20 | 50 |
| 15 | 20 | 100 |
| 17 | 22 | 100 |

Keskeytysten osuutena pidetään 20 %:ia tehoajasta (HARSTELA ym. 1975; RUMPU-NEN 1975).

432. Tuotos

Kaadon tuotos (kuva 8) on laskettu esitetyillä perusteilla seuraaville menetelmille:

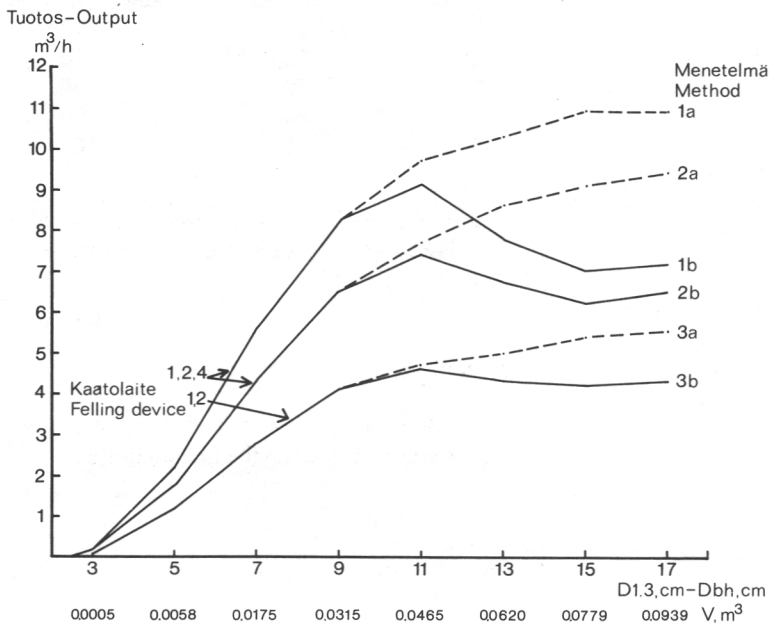
| | Menetelmä — Method | Laite — Device |
|-----|---|----------------|
| 1a | Suomukaato <i>Felling without bunching</i> | 1..5 |
| 1b | Suomukaato + katkonta <i>Felling without bunching + cross-cutting</i> | 1, 2, 4 |
| 2a | Kaato + tyvien siirtely yhteen <i>Felling + moving butts together</i> | 1..5 |
| 2b | Kaato + tyvien siirtely yhteen + katkonta <i>Felling + moving butts together + cross-cutting</i> | 1, 2, 4 |
| 3a* | Kaato + kasaus <i>Felling + bunching</i> | 1..3 |
| 3b* | Kaato + kasaus + katkonta <i>Felling + bunching + cross-cutting</i> | 1, 2 |

* Kasausmatka 5 m — Bunching distance 5 m

Kuvassa 8 on esitetty tuotuskäyrät vain laitteille 1, 2 ja 4, koska ne osoittautuivat käyttökelpoisimmiksi. Raivaussaha (5) oli alle 6 cm:n puilla sekä menetelmässä 1a että 2a selvästi muita laitteita nopeampi. Menetelmittaiset tuotokset ovat liitteessä 2. Puiden katkaisu pudottaa tuotosta selvästi yli 9 cm:n puilla. Tämä johtuu katkaistavien puiden osuuden nopeasta kasvusta ao. läpimittaluokissa.

Kuvan 8 tuotuskäyriä tarkasteltaessa on muistettava, että ne eivät ole keskiläpimitan funktiona piirrettyjä. Työn tuotosta arvioitaessa on siis tunnettava puuston runkolukusarja.

Seuraavassa esitetään esimerkkilaskelma teoreettiseen runkolukusarjaan perustuvasta tuotoksesta. Keskiläpimitan perusteella kuvan 8 käyrältä 2b otettu tuotos poikkeaa siitä oleellisesti.



Kuva 8. Työn tuotos.
Fig. 8. Work output.

| D _{1,3} | % Runkoluvusta | Painotettu tuotos, m ³ /h |
|---|----------------|---|
| -3.0 | 2 | 0.02 |
| 3.1-5.0 | 8 | 0.08 |
| 5.1-7.0 | 5 | 0.15 |
| 7.1-9.0 | 12 | 0.64 |
| 9.1-11.0 | 43 | 2.96 |
| 11.1-13.0 | 22 | 1.54 |
| 13.1-15.0 | 8 | 0.51 |
| Yhteensä | | 5.88 |
| Keskiläpimittaa (9.7 cm) vastaava tuotos | | 6.80 |
| Erotus | | 0.92 |

Virhe keskiläpimittaa käytettäessä ei kuitenkaan ole kovin suuri, yleensä enintään 10...15 %, jollei runkolukusarja ole poikkeuksellisen vino. Jos runkoja ei katkaista, keskiläpimitan käyttö aiheuttaa virhettä tuskin lainkaan.

KAHALAN (1975) mukaan suunnilleen vastaavan kokoisen puuston kaadossa, katkonnassa ja kasauksessa on ajanmenekki ollut 18.7 min/m³ mikä vastaa tuotosta 3.2 m³/h. Menetelmä vastaa edellä esitettyä menetelmää 3b. Rungon keskikoko KAHALAN selvityksessä oli n. 0.025 m³, mitä tässä tutkimuksessa vastaa tuotos 3.4 m³/h. HARSTELA ym. (1975) saivat ajanmenekiksi rinnankorkeusläpimitaltaan n. 3.2 cm männyn taimiston kokopuuna korjuussa 197 min/m³ eli 0.3 m³/h mikä vastaa tutkimuksen tuloksia. On muistettava että HARSTELAN ym. selvityksessä on kyseessä harvennus, kun taas käsillä olevassa tutkimuksessa käsitellään avohakkuuta. Riukuasteen männikön harvennuksessa (D_{1,3} = 4.8 cm) on työajanmenekki ollut menetelmää 3a vastaavasti hakattaessa n. 52 min/m³ eli 1.1 m³/h, mikä jälleen vastaa kuvan 8 mukaista tuotosta (HARSTELA ja TERVO 1975). Lepikön avohakkuussa tuotos on ollut RUMPUSEN (1975) mukaan 40 % suurempi kuin tässä tutkimuksessa. RUMPUSEN käyttämä kuutiointimenetely antaa suurempia tilavuuksia kuin tässä tutkimuksessa käytetty. Ero johtuukin pääosin tästä. Kaadon ajanmenekki on käsillä olevan tutkimuksen mukaan yli 8 cm:n puilla suurempi kuin RUMPUSEN mukaan. Tällä lienee myös oma osuutensa tulosten väliseen eroon. Menetelmien 1b ja 2b välinen suhteellinen ero n. 7 cm:n puilla on suunnilleen sama kuin RUMPUSEN toteama.

Aiemmin viitattiin ns. siirtelykaatomenetelmään, jossa kaato ja kasaus on yhdistetty.

Kaato ja kasaus nivelletään toisiinsa siten, että tekemies voi käyttää kaatuvan puun liike-energiaa kasaukseen. Maassa olevia puita ei siirrellä. Menetelmän ydin on siirtelyn ajoittaminen puun kaatumisvaiheeseen, jolloin kokonaan ilmassa olevan puun siirtäminen ei tuota vaikeuksia. Hakkuumies työskentelee lisäksi kaiken aikaa pystyasennossa (kuva 9). Menetelmä on mahdollinen esimerkiksi Jaarasan laitetta käytettäessä. Kasausmatka ei kuitenkaan voi olla kovin pitkä, 5 m lienee yläraja. HAKKILAN ym. (1975) mukaan männikön ensiharvennuksessa päästiin tällä menetelmällä 3.8 m³/h tuotokseen rungon keskikoon ollessa 0.025 m³. Tuotos on hyvin lähellä tässä tutkimuksessa esitettyä avohakkuuoloissa saavutettua tuotosta (menetelmä 3a).

Työajan rakenne (liite 3) ei katkaisua vaativissa menetelmissä (1b, 2b, 3b) juurikaan riipu rinnankorkeusläpimitasta. Siirtymisen osuus pienenee jonkin verran läpimitan kasvaessa, ja 11 cm:n puista alkaen katkaisun osuus kasvaa.

Kuva 9. Siirtelykaadossa puuta liikutellaan vain kaatumisen aikana.

Fig. 9. In "moving-felling" the logger moves the tree only during felling.



Taulukko 3. Suhteellinen tuotos eri hakkuumenetelmissä. Menetelmä 2b/9 cm = 100.
 Table 3. Relative output for different logging methods. Method 2b/9 cm = 100.

| Menetelmä Method | Laite Device | D _{1,3} , cm – Dbh, cm | | | | | | |
|---------------------|-----------------|---------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 |
| | | Suhteellinen tuotos – Relative output | | | | | | |
| 1a | 1, 2, 4 | 3 | 34 | 86 | 126 | 149 | 158 | 168 |
| 1b | 1, 2, 4 | 3 | 34 | 86 | 126 | 140 | 120 | 108 |
| 2a | 1, 2, 4 | 3 | 27 | 68 | 100 | 118 | 132 | 140 |
| 2b | 1, 2, 4 | 3 | 27 | 68 | 100 | 114 | 103 | 95 |
| 3a | 1, 2 | 2 | 18 | 43 | 63 | 72 | 77 | 83 |
| 3b | 1, 2 | 2 | 18 | 43 | 63 | 71 | 66 | 65 |

Mikäli puita ei katkaista, kaadon osuus kasvaa puiden suuretessa. Työajan jakautuma vastaa osapuilleen RUMPUSEN (1975) ja KALAJAN (1975) toteamaa.

Eri kaatomenetelmien suhteellinen tuotos riippuu voimakkaasti läpimitasta (taulukko 3). Kun vertailuarvona pidetään menetelmää 2b on 9 cm:n puilla menetelmissä 1a ja 1 b tuotos

noin neljänneksen suurempi, kun se taas menetelmissä 3a ja 3b on reilun kolmanneksen pienempi.

Menetelmistä lienevät käytäntöön soveltuvia 2b ja 3b. Eräin paikoin käytetään kasausta vaativissa menetelmissä myös apumiestä. Kahden miehen työryhmän tuotokseen ei tässä puututa.

Kuva 10. Työasento tavallista moottorisahaa käytettäessä on hankala.

Fig. 10. Working position is not good when using a conventional chain saw.



Kuva 11. Lisälaite mahdollistaa kaadon pystyasennossa. Kuvassa Jaarasan ja Rantapuun laite.

Fig. 11. Additional device model Jaarasan & Rantapuun enables felling in the standing position.



44. Kaatotyön ja -laitteiden ergonomiasta

Pienpuun kaato poikkeaa perinteisistä hakkuumenetelmistä. Kaadon osuus ajanmenekistä on huomattava (vrt. esim. KAHALA ja RANTAPUU 1970). Tekomies joutuu olemaan hankalassa kaatosahasasennossa pitkään. Lisäksi kokonaisten puiden kasaus, milloin sitä tehdään, voi koosta riippuen olla hyvinkin raskasta. Lämpimältäan 9 cm:n ja pituudeltaan 9 m:n mänty katkomattomana painaa jo yli 35 kg (vrt. HARSTELA ja TERVO 1975; HAKKILA ym. 1975), mikä on Työterveyslaitoksen normi suurimmasta taakan painosta jatkuvassa nostotyössä.

Hankala kaadon työasento on johtanut laite- ja menetelmäkehittelyihin jo varsin varhain. Aiemmin on mainittu MAKKOSEN (1960) selvitys pienpuun kaadon ajanmenekistä käyttäen moottorisahaa, joka on tuettu hihna-kiinnityksellä tekomiehen kannatukselle. Samassa tutkimuksessa käsitellään myös kaatoa ketjuterällä varustetulla raivaussahalla.

Tässä tutkimuksessa mukana olleista laitteista mahdollistavat muut paitsi tavanomainen moottorisaha kaadon tekomiehen ollessa pystyasennossa. Kun on kyse jatkuvasta kaadosta, työasennon merkitys on varsin suuri (kuvat 9, 10 ja 11). Koska jonkinmoinen kasaus nyky näkymillä näyttää välttämättömältä ovat raivaussahapohjaiset kaatolaitteet epätarkoituksenmukaisia lukuunottamatta menetelmää 2a. Ne näet edellyttävät kasausta täysin erillisenä vaiheena pelkkää kaatoa käsittävän työjakson jälkeen. Lisäksi kaadon suuntaus ja katkonta on niillä hankalaa. Saarenkedon laitteella (3) kaatoasento on hyvä, sen sijaan laitteen siirtely ja asettaminen kaatoasentoon vähänkään tiukemmassa puustossa tuottaa vaikeuksia. Katkontaan se ei sovellu. Laitehan oli alunperin kehitetty harvahkon, tässä tutkimuksessa kaadettavana ollut järeämmän puuston suomukaatoon, kun katkontaa ei vaadita. Tutkimuksen valmistuttua on Takalon laitteessa lyhennetty terän ja miehen välistä etäisyyttä. Kaadon suuntaus onnistuu tällöin paremmin. Myös normaali raivaussaha on näin muuttaen saatavissa kaadon kannalta edullisemmaksi.

Selkä suorana työskentely takaa hyvän asennon ohella myös normaalia pienemmän meluja pakokaasualtistuksen, sillä työntekijän kasvojen etäisyys sahasta kasvaa. Tämä pätee erityisesti Saarenkedon ja Jaarasan laitteisiin. Rai-



Kuva 12. Raivaussahalla työ on turvallista. Kuvassa Takalon laite.

Fig. 12. Working with the clearing saw is safe. Clearing saw model Takalo.

vaussahan pohjalle rakentuvissa kaatovälineissä moottorin etäisyys sahaajan päänsuudusta sen sijaan on melko lyhyt. Raivaussahojen haittapuolena on se, että työntekijä joutuu kaiken aikaa kannattamaan sahan painoa työskennellessään.

Jaarasan laite on ainoa, joka mahdollistaa ns. siirtely-kaatomenetelmän etujen täysimääräisen hyödyntämisen. Tällöin kaadon lisäksi myös kasaus käy pystyasennossa. Tämä on ensiarvoisen tärkeä näkökohta kun muistetaan, että kasaus on kokonaisten puiden korjuun vaikein ongelma.

Normaalilla moottorisahalla tulee kaadossa väistämättä eteen tilanteita, jolloin sahaa hoidellaan yhdellä kädellä ja toisella ylös kurkottaen suunnataan kaatuvaa puuta (kuvat 13 ja 14). Pienellä puulla läpisahausta tapahtuu nopeasti, minkä jälkeen sahan hallitseminen yhdellä kädellä on vaikeaa ja tapaturman vaara kasvaa.



Kuva 13. Kaatosahaus yhdellä kädellä on vaarallista tavallista moottorisahaa käytettäessä. (Kuva Oy W. Rosenlew Ab)

Fig. 13. Felling with the chain saw in one hand only is dangerous. (Photo Oy W. Rosenlew Ab)



Ns. raivauspuun poisto sujuu vaivattomimmin raivaussahaperustaisilla laitteilla. Normaali moottorisaha ja Saarenkedon laite lienevät tässä työssä kehoitettavat.

Tapaturman uhka on epäilemättä pienin raivaussahapohjaisilla laitteilla. Kokemusten perusteella Jaarasan ja Saarenkedon laitteet eivät liene oleellisesti näitä vaarallisempia. Normaali moottorisaha, kuten jo edellä todettiin, on sen sijaan selvästi muita laitteita vaarallisempi. Jos sovelletaan hakkuumenetelmää, jossa apumies suuntaa kaadon toisen miehen pelkäästään sahattessa, kasvaa tapaturmavaara huomattavasti. Tämä menetelmä ei ole suositeltava. Turva-

Kuva 14. Saha tulisi laskea maahan puun siirte-
lyn ajaksi.

*Fig. 14. The chain saw should be left on the
ground while moving the tree.*

saappaiden käyttö on tarpeen muilla kuin raivaussahaperustaisilla laitteilla.

Edellisen perusteella on todettava, että Jaa-

rasen ja Takalon laitteet ovat ergonomian kannalta parhaat. Moottorisaha on joka suhteessa näitä laitteita kehnempi.

5. TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä tutkimuksessa kerättiin aineistoa vain varsinaisesta kaatovaiheesta. Muiden työvaiheiden osalta tyydyttiin kirjallisuustarkastelun avulla saatuihin ajanmenekkilukuihin ja eri menetelmien käyttökelpoisuusarvioihin. Tuotostuloksiin menetelmä aiheuttaa epävarmuutta. Sen sijaan eri laitteiden vertailussa ja kaatoajanmenekistä saatiin tulokset, joiden perusteella laitteiden keskinäinen edullisuusjärjestys tuotoksen osalta oli tehtävissä, kun otettiin lisäksi huomioon laitteiden rakenteen aiheuttamat rajoitukset erilaisten hakkuumenetelmien käytölle. Kun mukaan otetaan ergonomiset näkökohdat päädytään taulukon 4 mukaiseen edullisuusjärjestykseen. Takalon laite (4) on oletettu kehittyneemmäksi versioksi, jossa miehen ja terän väliä on lyhennetty.

Taulukko 4 perustuu suurelta osin subjektiiviseen painotukseen. Ergonomiset seikat ovat saaneet suuren painon. Kriteereiden keskinäisestä tärkeydestä voidaan ehkä esittää toisenlaisiakin käsityksiä. Tavallinen moottorisaha on nimenomaan ergonomisten seikkojen – työasennon ja tapaturmavaaran – vuoksi jäänyt alhaiselle sijaluvulle.

Kun tarkastellaan eri laitteiden edullisuutta, on muistettava, että esim. Takalon laite ja Jaarasen laite eivät varsinaisesti kilpaile keskenään. Takalon laitteen pääkäyttöalue on näet menetelmissä, jotka eivät vaadi varsinaista kasausta. Jaarasen laite puolestaan sopii kaikkiin menetelmiin. Takalon laite on soveltuviissa menetelmissä samanveroinen Jaarasen laitteen kanssa. Mikäli raivattavaa puustoa on runsaasti lienee Takalon laite jopa edullisempi, kunhan hakkuumenetelmä muutoin on sovelias. Koska Takalon laitteeseen on vielä kehitteillä lisäkomponentti vesomista estävän aineen levittämiseksi kantoihin kaadon yhteydessä, eriytyvät laitteiden käyttöalueet entisestään. Vastaavaa hormoonin levityslaitetta on asennettu valmistajien toimesta jo normaaleihin raivaussahoihin.

Vaikkakaan tutkimuksen tarkoituksena ei alunperin ollut vertailla eri hakkuumenetelmien

tuotoksia, katsottiin aiheelliseksi laatia tuotostulokselma eräille laitteille. Tuotokset osoittautuivat pienemmiksi kuin RUMPUSEN (1975) toteamat, mikä kuitenkin johtuu kuutiointiyhtälöiden eroista. Eri tutkimuksissa saavutetut tuotokset harvennusoloissa vastasivat tämän tutkimuksen tuloksia. Epävarmuutta on erityisesti siinä, että tuotokset on esitetty aina 17 cm:n puille asti, vaikka aineisto katsottiin täysin riittäväksi vain rinnankorkeudelta 11 cm:n puihin saakka. Tuloksia tarkasteltaessa tämä on syytä muistaa.

Tehdyt ergonomiset arviot eivät perustu mittauksiin vaan osin laitteiden käyttäjien lausuntoihin ja osin jo yleisestikin hyväksytyihin käsityksiin eri työvaiheiden ja työasentojen rasittavuudesta. Tapaturma-alttiuden osalta arviot perustuvat lähinnä työtekijöiden ja kirjoittajan henkilökohtaisiin näkemyksiin.

Taulukko 4. Eri kaatolaitteiden edullisuus eräissä hakkuumenetelmissä.

Table 4. Usefulness of felling devices in some logging methods.

| *Menetelmä *Method | Laite – Device | | | | |
|-----------------------|----------------|-----|---|-----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1a | x | xxx | x | xxx | xx |
| 1b | (x)x | xxx | o | xx | o |
| 2a | x | xxx | x | xxx | xx |
| 2b | (x)x | xxx | o | xx | o |
| 3a | x | xxx | x | xx | x |
| 3b | (x)x | xxx | o | x | o |

*Menetelmän selitykset luvussa 432 – Explanations in chapter 432

xxx – Sopii hyvin – Good

xx – Sopii kohtalaisesti – Fair

x – Sopii heikosti – Poor

o – Ei sovi – Not suitable

KIRJALLISUUTTA

- AGER, B.H. 1964. Huggning av stammar. Fältstudie 1964. Forskningstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse nr 3.
- AGER, B.H. 1967. Tidformler för huggning baserade på fältstudier 1959–67. Forskningstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr 12. Stockholm.
- AGER, B.H. Tidformler för huggning. Underlag för metodvalskalkyler mm. Skogsarbeten. Ekonomi nr 1. Stockholm.
- HAKKILA, P., KALAJA, H. & MÄKELÄ, M. 1975. Kokopuun käyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. *Folia For. (Inst. For. Fenn.)*. 240.
- HAKKILA, P., KALAJA, H. & SCHILDT, Y. 1975. BOBCAT M-721 kaato-kasauskone männikön ensiharvennuksessa. Summary: BOBCAT M-721 feller-buncher in early thinning of scots pine. *Folia For. (Inst. For. Fenn.)*. 256.
- HARSTELA, P. 1971. Työjärjestyksen vaikutus tynkäärsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. Summary: The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough limbed spruce pulpwood. *Folia For. (Inst. For. Fenn.)*. 105.
- HARSTELA, P. & VALONEN, P. 1972. Työn tuotos, työntekijän fyysinen kuormittuminen ja värinäaltistus pelkässä kaadossa. Summary: Work output, physical load of the worker and exposure to vibration in felling. *Folia For. (Inst. For. Fenn.)*. 151.
- HARSTELA, P., TAKALO, S. & TERVO, L. 1975. Raivaussaha m/Takalo ja kaatolaite m/Jaaranen & Rantapuu männyn taimikon korjuussa. Metsäntutkimuslaitos. Metsäteknologian tutkimusosasto/Suonenjoen metsänviljelyn koeasema. Ennakkotietoja.
- HARSTELA, P. & TERVO, L. 1975. Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun työn tuotos ja ergonomia. Metsäntutkimuslaitos. Metsäteknologian tutkimusosasto/Suonenjoen metsänviljelyn koeasema. Ennakkotietoja.
- HEINO, E., PELTONEN, J. & TYNKKYNNEN, M. 1973. Työvaikeustekijöiden vaikutus vesuri- ja raivaussahatyöhön taimiston perkauksessa ja harvennuksessa. Summary: Effect of work difficulty factors on brush-hook and clearing-saw work in the tending of young stands. *Metsätehon tiedotus – Metsäteho report*. 322.
- KAHALA, M. 1962. Erilaiset hankintamene-
telmät polttohakerankojen valmistuksessa ja kuljetuksessa. Summary: Logging methods used in the preparation and haulage of fuel chip long logs. *Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report*. 195.
- KAHALA, M. 1970. Ajankäyttö runkojen kaadossa. Summary: Time expenditure on tree-length felling. *Metsätehon katsaus – Metsäteho Review*. 13.
- KAHALA, M. 1975. Puutavaran hakkuu ja metsäkuljetus kokopuina Kemihaaran allasalueella. *Metsätehon seloste*. 1.
- KAHALA, M. & RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikotekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen kuormaa kantavalla metsätraktorilla. Summary: Study of the effect of the method of timber preparation and marked-stand factors on cutting and forwarding with a forwarder. *Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report*. 292.
- KALAJA, H. 1975. Työajan jakautuma n.s siirtelykaatomenetelmässä. Kirjallinen tiedonanto.
- MAKKONEN, O. 1959a. Työntutkimuksia halkojen ja polttohakerankojen hankinnasta. Summary: Work studies of the logging of split fuelwood and long logs for fuel chips. *Metsätehon julkaisu – Metsäteho Publication*. 41.
- MAKKONEN, O. 1959b. Halkojen ja polttohakerankojen hankinnan työajan menekki. Summary: Time expenditure in the logging of split fuelwood and long logs for fuel chips. *Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report*. 154.

MAKKONEN, O. Aikatutkimuksia polttohakerankojen rasiinkaadosta. Summary: Time studies on the summer felling of long logs for fuel chips. Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report. 177.

MAKKONEN, O. Aikatutkimuksia polttohakerankojen karsimisesta ja roukkupinoihin keräämisestä. Summary: Time studies on the logging of fuel chip long logs and collecting them in raised piles. Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report. 181.

MAKKONEN, O. 1961b. Työntutkimuksia polttohakerankojen hankinnasta. Summary:

Work studies of the logging of long logs for fuel chips. Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report. 187.

RUMPUNEN, H. 1975. Pieniläpimittaisen lepän kokopuunakorjuu. Metsäteho. Ennakkotiedotuksia.

SAMSET, I., STRØMNES, R. & VIK, T. 1969. Hogstundersøkelser i norsk gran- och furuskog. Summary: Cutting Studies in Norwegian Spruce and Pine Forests. Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen, nr 95. Bind XXVI. Hefte 2. Reports of The Norwegian Forest Research Institute 26(95).

Liite 1. Tutkimusaineisto.

Appendix 1. Material.

| Kaatolaite Felling device | Puulaji – Tree species | | | | Koko aineisto Total | |
|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Koivu – Birch | | Leppä – Alder | | Puita, kpl Number of trees | D _{1.3} , cm Dbh, cm |
| | Puita, kpl Number of trees | D _{1.3} , cm Dbh, cm | Puita, kpl Number of trees | D _{1.3} , cm Dbh, cm | | |
| 1 | 351 | 7.2 | 386 | 7.5 | 737 | 7.1 |
| 2 | 270 | 7.2 | 544 | 5.8 | 814 | 6.1 |
| 3 | 37 | 6.8 | 172 | 7.0 | 209 | 7.0 |
| 4 | 115 | 8.4 | 277 | 6.8 | 392 | 7.2 |
| 5 | 146 | 7.2 | 333 | 7.1 | 479 | 7.1 |
| Kaikkiaan Total | 919 | 7.2 | 1712 | 6.7 | 2631 | 6.8 |

Liite 2. Kaatotyön tuotos.
Appendix 2. Work output.

| D _{1,3} , cm Dbh, cm | V _i , m ³ | Menetelmä – Method | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--------------------|-----|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-------|----------------|-----|-------|----------------|-----|-----|----------------|-----|-----|
| | | 1a | | | 1b | | | 2a | | | 2b | | | 3a | | | 3b | | |
| | | Laite – Device | | | Laite – Device | | | Laite – Device | | | Laite – Device | | | Laite – Device | | | Laite – Device | | |
| | | 1,2,3 | 3 | 5 | 1,2,4 | 1,2,4 | 3 | 5 | 1,2,4 | 1,2,4 | 3 | 5 | 1,2,4 | 1,2,4 | 3 | 5 | 1,2,4 | 1,2 | 3 |
| Tuotos, m ³ /h – Output, m ³ /h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0.0005 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 5 | 0.0058 | 2.2 | 1.9 | 2.9 | 2.2 | 1.8 | 1.6 | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 2.2 | 2.2 | 1.6 | 1.2 | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 1.1 | 1.2 |
| 7 | 0.0175 | 5.6 | 4.5 | 5.7 | 5.6 | 4.4 | 3.8 | 4.4 | 3.8 | 4.4 | 4.5 | 4.5 | 3.8 | 2.8 | 4.4 | 4.4 | 2.8 | 2.6 | 2.8 |
| 9 | 0.0315 | 8.2 | 6.4 | 7.0 | 8.2 | 6.5 | 5.3 | 6.5 | 5.3 | 6.5 | 5.7 | 5.7 | 5.3 | 4.1 | 6.5 | 6.5 | 4.1 | 3.6 | 4.1 |
| 11 | 0.0465 | 9.7 | 7.6 | 7.5 | 9.0 | 7.7 | 6.3 | 7.7 | 6.3 | 7.7 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 4.7 | 7.3 | 7.3 | 4.2 | 4.2 | 4.6 |
| 13 | 0.0620 | 10.3 | 8.3 | 7.5 | 7.8 | 8.6 | 7.1 | 8.6 | 7.1 | 8.6 | 6.5 | 6.5 | 7.1 | 5.0 | 6.7 | 6.7 | 5.0 | 4.5 | 4.3 |
| 15 | 0.0779 | 10.9 | 8.5 | 7.2 | 7.0 | 9.1 | 7.3 | 9.1 | 7.3 | 9.1 | 6.4 | 6.4 | 7.3 | 5.4 | 6.2 | 6.2 | 5.4 | 4.7 | 4.2 |
| 17 | 0.0939 | 10.9 | 8.3 | 7.0 | 7.2 | 9.4 | 7.5 | 9.4 | 7.5 | 9.4 | 6.3 | 6.3 | 7.5 | 5.5 | 6.5 | 6.5 | 5.5 | 4.7 | 4.3 |

Liite 3. Työajan rakenne. Menetelmissä 1b ja 2b laitteet 1, 2 ja 4 sekä menetelmässä 3b laitteet 1 ja 2.
 Appendix 3. Distribution of working time. Devices 1, 2 and 4 in methods 1b and 2b. Devices 1 and 2 in method 3b.

| Työvaihe Work phase | D _{1,3} , cm – Dbh, cm | | | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 |
| | Työvaiheen osuus työmaa-ajasta, % Proportion of work site time | | | | | | |
| | Menetelmä 1b – Method 1b | | | | | | |
| Kaato – Felling | 42 | 50 | 55 | 60 | 60 | 50 | 45 |
| Siirtyminen – Moving from tree to tree | 40 | 32 | 27 | 22 | 17 | 10 | 7 |
| Raivaus – Clearing | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Tyvien siirtely Moving butts together | – | – | – | – | – | – | – |
| Kasaus – Bunching | – | – | – | – | – | – | – |
| Katkonta – Cross-cutting | – | – | – | – | 6 | 21 | 30 |
| Keskeytykset – Interruptions | 16 | 16 | 16 | 17 | 15 | 18 | 17 |
| Yhteensä – Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Menetelmä 2b – Method 2b | | | | | | |
| Kaato – Felling | 39 | 40 | 43 | 48 | 48 | 44 | 43 |
| Siirtyminen Moving from tree to tree | 36 | 26 | 21 | 17 | 13 | 9 | 7 |
| Raivaus – Clearing | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tyvien siirtely Moving butts together | 7 | 17 | 17 | 17 | 16 | 11 | 10 |
| Kasaus – Bunching | – | – | – | – | – | – | – |
| Katkonta – Cross-cutting | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 18 | 27 |
| Keskeytykset – Interruptions | 17 | 16 | 18 | 17 | 17 | 17 | 12 |
| Yhteensä – Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Menetelmä 3b – Method 3b | | | | | | |
| Kaato – Felling | 22 | 27 | 28 | 30 | 30 | 28 | 28 |
| Siirtyminen Moving from tree to tree | 20 | 17 | 14 | 11 | 8 | 6 | 4 |
| Raivaus – Clearing | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tyvien siirtely Moving butts together | – | – | – | – | – | – | – |
| Kasaus – Bunching | 41 | 38 | 42 | 41 | 41 | 36 | 34 |
| Katkonta – Cross-cutting | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 12 | 19 |
| Keskeytykset – Interruptions | 16 | 17 | 15 | 17 | 17 | 17 | 14 |
| Yhteensä – Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

- 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 Wilhelmson: Puutavaran käsittely. 7,—
- No 217 Pentti Rikkinen: 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,—
- No 224 Pentti Hakkila: Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteitten määrä. Bark percentage, basic density, and amount of acetone extractives in stump and root wood. 1,50
- No 225 Metsätalostollinen 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 Rikkinen: Sahatukkien todellisen kiintomitan määrittämismenetelmät. Methods for the measurement of softwood sawlogs. 3,—
- No 230 Aulikki Kauppila ja Erkki Lähde: Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. 3,—
- No 231 Olli Uusvaara ja Kari Löyttyniemi: Tikaskuoriaisen (*Trypodendron lineatum* Oliv., Col., Scolytidae) aiheuttaman vioituksen 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 metsäteollisuuden raaka-ainenäykymät 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 laadunmääritys Suomessa. Preparation, handling, measurement and quality determination of sawmill chips in Finland 3,—
- No 235 Seppo Kaunisto: 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 määritystä koskevia tutkimuksia. Mutkainen lehtikuitupuu, järeä kuitupuu sekä likipituinen havukuitupuu. 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 238 Mirja Ruokonen: Lehtien kautta annetun fenoksiherbisidin käyttäytyminen kasvissa. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.

- The behaviour of leaf-applied phenoxy-herbicides in plants. A study based on literature. 2,50
- 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 trees. 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 243 Paavo Valonen: Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun tekomenetelmissä. The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods. 4,—
- No 244 Eero Lehtonen: Kourakuormauksen oppiminen. Learning of grapple loading. 4,—
- No 245 Pentti Nisula: Kantoloukku. Stump Crusher. 3,—
- No 246 Hans G. Gustavsen ja Erkki Lipas: Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. 2,—
- No 247 Yrjö Vuokila: Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Thinning of young spruce plantations as a problem of timber production. 2,50
- No 248 Timo Kurkela ja Yrjö Norokorpi: Kuusen lumikaristesienen (*Lophophacidium hyperboreum* Lagerb.) esiintyminen Suomessa. Occurrence of spruce snow blight fungus, *Lophophacidium hyperboreum* Lagerb. in Finland. 1,—.
- No 249 Pentti Hakkila ja Markku Mäkelä: Pallarin vesakkoharvesteri. Pallari Bushharvester 2,—
- 1976 No 250 Veijo Heiskanen ja Pentti Rikkonen: Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. 7,—
- No 251 Veijo Heiskanen: Havusahatukkeja koskevia arvolaskelmia vuosina 1974—1975. Value calculations for softwood sawlogs in 1974—1975. 7,—.
- No 252 Jyrki Raulo ja Eino Mälkönen: Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla. Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil. 1,50
- No 253 S.-E. Appelroth: Työntutkimus Lamu-kylvökoneesta. Work Study of the Lamu Seeding Machine. 2,50
- No 254 Matti Kärkkäinen: Havutukkien kiintomittausmenetelmän seurantajärjestelmä. A control method for the measurement of pine and spruce logs. 2,—
- No 256 Pentti Hakkila, Hannu Kalaja ja Yrjö Schildt: Bobcat M-721 kaatokasauskone männikön ensiharvennuksessa. Bobcat M-721 feller-buncher in early thinning of Scots pine. 2,—.
- No 257 Pirkko Velling: Mänty- ja kuusiprovenienssien puuaineen tiheyden vaihtelusta. The wood basic density variation of pine and spruce provenances. 4,—
- No 258 Nisula Pentti: Muovihuoneen sadetuskone. A sprinkler for a plastic greenhouse. 1,50
- No 259 Matti Uusitalo: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972 ja 1973. Costs of timber production in Finland in 1972 and 1973. 5,—.
- No 260 Harstela Pertti: Työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen tehtäessä kuitupuuta liuku-puomikuormausta varten. Work output and the worker's strain in cutting pulpwood for slide-boom loading. 2,50
- No 261 Eero Lehtonen: Pienpuun kaato moottori- ja raivaussahoihin perustuvilla laitteilla. Felling of small-size trees with felling devices based the chain saw and clearing saw. 3,—
- No 264 Yrjö Vuokila: Ensiharvennuskertymä. Yield from the first thinning. 1,50