

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 282

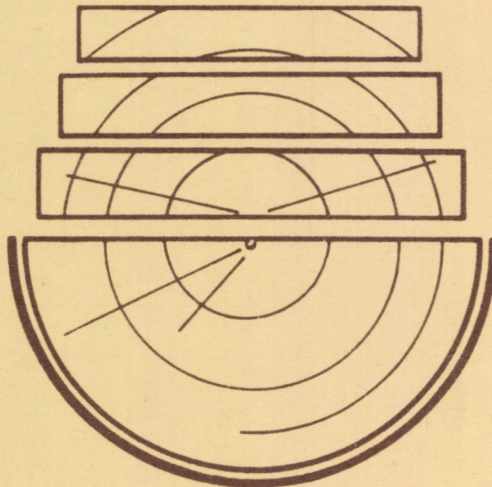
METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO
PUUNTUTKIMUSSUUNTA



ERKKI VERKASALO

RUMPUHAKKURI TT 97 R

SUMMARY
DRUM CHIPPER TT 97 R



HELSINKI 1987

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 282

Metsäteknologian tutkimusosasto
Puuntutkimussuunta 1987

Erkki Verkasalo

RUMPUHAKKURI TT 97 R

Summary
Drum chipper TT 97 R

SISÄLLYS	Sivu
1. JOHDANTO	3
2. HAKKURIN TEKNISET TIEDOT	6
3. HAKETUSTYÖN JÄRJESTELY	9
4. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO	12
5. TULOKSET JA VERTAILU MUIHIN HAKKUREIHIN	18
51. Haketustyön ajanmenekki ja tuottavuus	18
52. Hakkeen palakokojakauma	28
53. Hakkeen tiiviys, massa ja tehollinen lämpöarvo ..	33
6. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	38
KIRJALLISUUS - REFERENCES	41
SUMMARY	43

ISBN 951-40-0828-6

ISSN 0358-4283

VAPK Kampin VALTIMO
Helsinki 1987

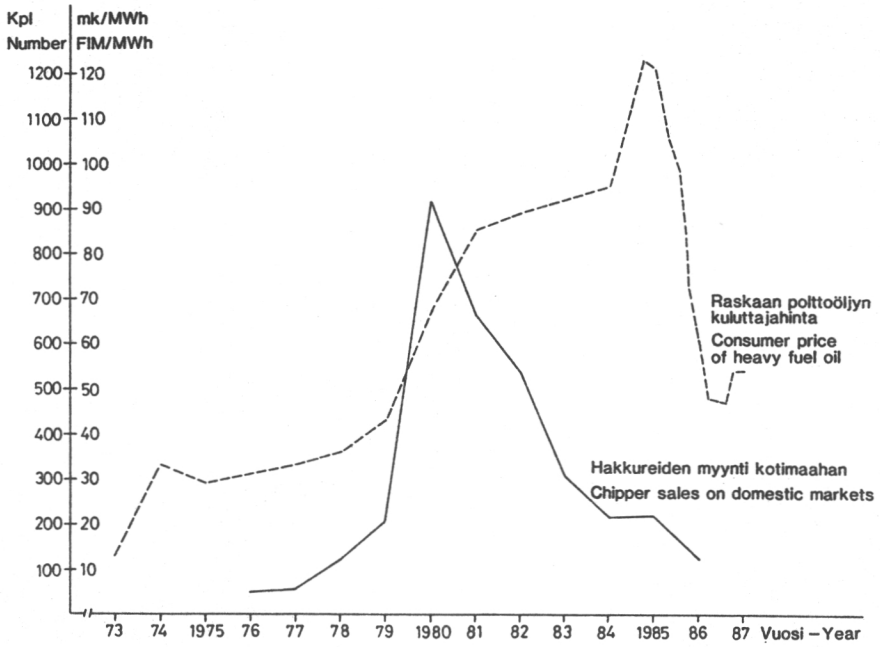
1. JOHDANTO

Metsähaketta hankitaan Suomessa nykyisin sulfaattisellu- ja vähäisessä määrin lastulevyteollisuuden raaka-aineeksi sekä polttoaineeksi.

Metsäteollisuuden raaka-aineeksi käytettävän, pelkästään kokopuusta tehtävän metsähakkeen hankintamäärät ovat olleet 1980-luvulla lievässä nousussa ensiharvennuspuun hankintamäärien kasvaessa. V. 1982 tällaista metsähaketta hankittiin 127 000 m³ (Hakkila 1984) ja hankintasuunnite vuodelle 1987 on 190 000 m³. Osapuuna korjuun yleistyminen vuodesta 1984 lähtien (Eskelinen ym. 1984) on hidastanut ensiharvennuspuun metsähakkeena korjuun kasvua. Kehitys säilynee lähivuosina samansuuntaisena. Keväällä 1987 hankittiin metsähaketta säännöllisesti vain viidelle sulfaattisellu- ja yhdelle lastulevytehtaalle.

Polttihakkeen hankintamäärien kehitys on ollut lähes suoraan verrannollinen raakaöljyn hintakehitykseen, jossa muutokset ovat olleet voimakkaita ja äkkinäisiä. Öljyn hinnan nelinkertaistuminen vuosina 1973-74 ja välillä tapahtuneen lievän laskun jälkeen kaksinkertaistuminen vuosina 1978-79 johtivat polttihakkeen käyttömäärien voimakkaaseen kasvuun. Vuonna 1982 metsähaketta poltettiin 126 000 m³ metsäteollisuuden ja 393 000 m³ muilla lämpölaitoksilla (Hakkila 1984). Maaliskuussa 1985 tapahtui käänne, jolloin öljyn hinta laski neljässä kuukaudessa puoleen ja useat lämpölaitokset lopettivat hakkeen polton.

Kun polttihakkeen kysyntä on vaihdellut näinkin voimakkaasti ja olemassa oleva hakkurikalusto on ollut vajaatyöllistetty (v. 1982 35 % Hakkilan (1984) mukaan), ovat kotimaan hakkurimarkkinat olleet varsin pienet. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksen tilastojen mukaan v. 1986 myytiin kotimaahan 124 maataloustraktorikäyttöistä, ilmeisesti kotitarveha-



Kuva 1. Hakkureiden kotimaan myynnin kehitys vuodesta 1976 ja sen yhteys raskaan polttoöljyn kuluttajahinnan muutokseen (Maatalous- ja metsäkoneiden... 1986, Energiakatsaus 1987).

Fig. 1. The development of chipper sales on domestic markets since 1976 and its connection with the consumer price changes of heavy fuel oil (Maatalous- ja metsäkoneiden... 1986, Energiakatsaus 1987).

ketukseen tarkoitettua pienpuuhakkuria ja 7 suurempaa väli-varastohakkuria (Maatalous- ja metsäkoneiden... 1986). Kuva 1 ilmentää hakkureiden kotimaan myynnin kehitystä vuodesta 1976 ja sen yhteyttä raskaan polttoöljyn kuluttajahinnan muutokseen. Kevyen polttoöljyn kuluttajahintojen muutokset ovat olleet suhteellisesti samanlaiset kuin raskaan polttoöljyn.

Nykyinen hakkurikalusto on varsin kirjavaa. Maatilojen kotitarvehaketukseen tarkoitettut hakkurit (esim. Junkkari,

Hakki, Sasmu) ovat maataloustraktorikäyttöisiä, yleensä nostolaitesovitteisia (3-pistekiinnitys) ja käsisyöttöisiä. Niillä voidaan toimia sekä hakkuupalstan ajouralla, välivarastolla että hakkeen käyttöpaikalla, ja hake puhalletaan joko traktorin peräkärriin tai suoraan hakevarastoon. Urakoitsijoille lämpölaitosten haketoimituksiin tarkoitetut hakkurit vaativat voimakkaamman peruskoneen, joka toimii vetokoneena sekä kuormaimen ja useimmiten myös hakkurin voimanlähteenä. Valtaosa niistä on maataloustraktorikäyttöisiä (mm. TT 1000 TU, joka on kokoluokkansa yleisin Suomessa (käytössä 50-60 kpl), Junkkari HJ 30, Karhula 312 CS, Sasmu HP 30). Markkinoilla on myös maataloustraktorisovitteisia (TT 1000 TS) ja metsätraktorisovitteisia (TT 1000 F, Pete 1000, Bruks 1001 CT), kipattavalla hakesäiliöllä varustettu- ja palstahakkureita sekä suuria tuotantomääriä varten rakennettuja autohakkureita (TT 910 R, Erjo, Lokomo MS 9 -vasaramylymurskain, Morgårdshammar -levymurskain). Lisäksi on valmistettu muutama hinattava, järeä varastohakkuri (TT 1250 M, HS 1000 HDK, Trelan D-60). Sellu- ja lastulevyhake tehdään autoalustaisilla, omalla käyttömoottorilla varustetuilla suurtehoakkureilla. Hakkeen laatuvaatimusten vuoksi nämä ovat nykyisin valtaosaltaan laikkahakkureita (TT 1500 L ja LP, TT 1750 LP, Hake-Jakke 2000 AE). Käytössä on ollut myös eräitä rumpuhakkureita (mm. Algol, Pete 1000).

YIT-yhtymä Oy:n Hämeenlinnan konepaja toi talvella 1985/86 markkinoille teholtaan, käyttöalueeltaan ja hinnaltaan tyyppillisten poltto- ja selluhakkeen tekoon tarkoitettujen hakkureiden väliin sijoittuvan TT 97 R -rumpuhakkurin. Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosasto suoritti maaliskuu-, huhti- ja lokakuussa 1986 sekä maaliskuussa 1987 kyseisellä hakkurilla tehdyn hakkeen ominaisuuksia selvitteliä tutkimuksia, joiden yhteydessä tutkittiin myös hakeustustyön ajanmenekkiä ja tuottavuutta.

Aineiston keruun mahdollisesti YIT-yhtymä Oy:n, Työväline Oy:n, Hämeenlinnan kaupungin metsätoimiston, Vapo Oy:n Rovaniemen työpiirin sekä hakkurien omistajien, urakoitsija Antti Koiviston Rovaniemeltä ja urakoitsija Hannu Kankaanmäen Lammilta, myönteinen suhtautuminen. Aineiston keruussa avustivat Hannu Kalaja, Tapio Nevalainen, Tapio Järvinen ja Jukka Lehtimäki. Laboratoriotyöt tehtiin Veitsiluoto Oy:n Kemin selluloosateollisuuden laboratoriossa Marja Myllykosken johdolla sekä Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla. Tekstinkäsittelystä huolehtivat Maija Tuuri, Heidi Koskinen ja Susanna Järvinen ja teknisestä muokkauksesta Pirkko Kinanen ja Raija Siekkinen. Kuvat piirsi Leena Muronranta. Käsikirjoituksen lukivat professori Olli Uusvaara, MH Juha Nurmi ja metsätalousinsinööri Hannu Kalaja. Kaikille tutkimukseen osallistuneille esitän parhaat kiitokseni.

2. HAKKURIN TEKNISET TIEDOT

TT 97 R on omasta käyttömoottoristaan tehon saava, telipyörälustalle rakennettu rumpuhakkuri (kuva 2). Tarvittaessa hakkuri voidaan asentaa kuorma-auton alustalle, jolloin käyttöteho saadaan kuorma-autosta kierrosluvun tarvittavalle tasolle nostavalla vaihteistolla (kuva 3). Hakepuut syötetään hakkuriin sivulta traktorin katolle tai hakkurin eteen asennettavalla hydraulikuormaimella. Leveän syöttölaitteen ansiosta voidaan kokopuun, karsitun rangan ja sahapintojen lisäksi hakettaa tehokkaasti myös hakkuutähteitä. Varsinainen hakkuriosa on pienempää hakkurirumpua lukuunottamatta samanlainen kuin autoalustaisessa TT 910 R -hakkurissa (Kuitto ja Nissi 1984). Tikkujen ja oksanpätkien erottamiseksi hakkeesta hakkuri on varustettu sisäisellä hakeseulalla.

Telipyöräalustaisen perusmallin tärkeimmät tekniset tiedot ovat seuraavat:

Päämitat työasennossa:

Pituus 5300 mm
Leveys 3450 mm
Korkeus 4250 mm
Paino 8000 kg

Hakkuri:

2-teräinen rumpuhakkuri
Rummun läpimitta 900 mm
Hakkeen pituus säädettävissä välillä 8-32 mm
Mekaaninen voimansiirto kiilahihnalla ja levykytkimellä

Hakkurin käyttömoottori:

Deutz 195 kW/2300 r/min DIN (pienempi malli 157 kW)
24 V sähköjärjestelmä

Syöttölaite:

Sivusyöttö kulkusuuntaan nähden oikealta puolelta
Alapuolella ketjukuljetin, pituus 1600 mm
Yläpuolella hydraulisesti puristava syöttörulla
Automaattinen syöttönopeuden valvonta sähköisesti
kierrosnopeuden mukaisesti
Syöttöpöytä käännetään hydraulisesti ylöspäin kuljetuksen ajaksi

Syöttöaukko:

Leveys 700 mm
Korkeus 400 mm

Haketorvi:

Lähtee rummun vierestä
Kääntö hydraulisesti, kääntökulma 250°
Hakkeen suuntaus lipalla, lipan kääntö sähköisesti



Kuva 2. TT 97 R -hakkuri, telipyöräalustainen perusmalli.
Fig. 2. TT 97 R chipper, standard model on a trailer with a bogie.



Kuva 3. TT 97 R -hakkuri, kuorma-autoalustainen versio.
Fig. 3. TT 97 R chipper, truck mounted version.

Hydrauliikka:

Erilliset pumppuyksiköt syöttökuljettimelle ja -rullalle
Hydrauliöljysäiliö 100 l

Hallintalaitteet:

Käyttömootorin hallinta sen vieressä sijaitsevasta
ohjauspaneelistä
Syöttölaitteen hallinta traktorin ohjaamosta sähköisesti
kauko-ohjauskaapelin välityksellä

Vetokone:

Järeä maataloustraktori, tehosuositus 70-120 kW (96-164
hv).

Hakkurin myyntihinta oli heinäkuussa 1987 680 000 mk 195 kW
ja 645 900 mk 157 kW käyttömootorilla varustettuna. Hakkuria
valmistaa YIT-yhtymä Oy:n Hämeenlinnan konepaja. Koti-
maan markkinoinnin hoitaa Työväline Oy ja vientimarkkinoin-
nin YIT-yhtymä Oy. Heinäkuuhun 1987 mennessä hakkuria oli
valmistettu n. 10 kpl, joista suurin osa oli myyty Kes-
ki-Eurooppaan (mm. Sveitsi, Unkari, Tsekkoslovakia) ja Ka-
nadaan.

3. HAKETUSTYÖN JÄRJESTELY

TT 97 R -hakkuri soveltuu välivarasto- ja terminaalihaketuk-
seen. Välivarastohaketus tapahtuu metsävarastossa, josta
hake kaukokuljetetaan edelleen tehtaalle tai lämpölaitokselle.
Menetelmä soveltuu erityisesti sellaisten puutavarala-

jien haketukseen, joilla hakepuukuormien täyttöasteet jäävät hakekuormien täyttöasteita alhaisemmiksi (kokopuu, hakkuutähde). Välivarastohaketus on ylivoimaisesti yleisin haketusten menetelmä Suomessa.

Terminaalihaketus tapahtuu hakkeen käyttöpisteen välittömässä läheisyydessä sijaitsevassa terminaalissa, jonne hakepuut ajetaan kuorma-autoilla metsävarastoista. Menetelmää käytetään Suomessa valtion laitosten polttohakkeen hankinnoista huolehtiva Vapo Oy. Menetelmä soveltuu erityisesti karsitun rangan ja pinotavaran haketukseen, joilla hakepuukuormien täyttöasteet ovat hakekuormien täyttöasteita korkeammat.

Terminaalihaketuksella saavutetaan eräitä etuja välivarastohaketukseen verrattuna:

1. Parempi haketustyön tuottavuus
 - suuret varastotilat
 - suuret varastopinot
 - pieni lumi- ja jäähaitta, mikäli terminaalivaraston kierto on nopea
2. Helpompi haketustyön organisointi
 - ei työmaasiirtoja
 - huollot ja korjaukset helposti järjestettävissä
 - säännölliset haketoimitukset helpommin järjestettävissä
 - terminaalia voidaan käyttää hakepuun ja hakkeen puskurivarastona
3. Helpompi hakkeen laadun kontrollointi
 - terminaalia voidaan käyttää hakepuun kuivatuspaikkana
 - kuivaa ja kosteaa hakepuuta voidaan tarvittaessa sekoittaa

Terminaalihaketuksen huonoina puolina voidaan pitää:

- suuri varastotilan tarve
- kantavuusongelmat ja kunnossapidon tarve varsinkin ke-
lirikkoaikoina
- kuljetuskustannusetu pienenee, jos hakkeen toimituspis-
teitä on useita (hakepuun ja hakkeen ristiinkuljetuk-
sia)
- kokopuun ja hakkuutähteiden autokuljetus terminaaliin
on kallista
- hakepuun ja hakkeen käsittely moneen kertaan lisää ter-
minaalivaiheiden kustannuksia ja korkokustannuksia koko
hankintaketjussa
- hakepuun kuormaus kahteen kertaan (metsäkuljetuksen li-
säksi kaukokuljetuksessa) saattaa lisätä kivisyyshait-
taa haketuksessa

Itse työmenetelmä on TT 97 R -hakkurilla samanlainen sekä välivarasto- että terminaalihaketuksessa. Hakkuri etenee pitkin varastopinon etenemissuunnassa katsottuna vasenta sivua. Hakepuiden siirto syöttölaitteeseen tapahtuu mahdollisimman tehokkaalla, traktorin katolle tai hakkurin eteen asennettavalla hydraulikuormaimella. Hake puhalletaan suoraan traktorin perävaunuun, kuorma-autoon tai vaihtolavalle takaa- tai sivultapäin. Yleensä hakkeen kuljetusajoneuvoa on siirrettävä samaan tahtiin kuin hakkuri siirtyy, joskin haketorvea voidaan kääntää 250° ja hakkeen puhallussuuntaa voidaan ohjata torven päässä olevalla lipalla. Takaa puhallettaessa on hakeajoneuvon kippi pidettävä ylös nostettuna, jotta kuorma saataisiin haketettua täyteen (kuva 2).

4. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimuksessa seurattiin kumpaakin Suomessa joulukuussa 1987 urakointikäytössä ollutta TT 97 R -hakkuria. Hake puhallettiin molemmissa tapauksissa suoraan odottavan nuppiauton lavalle.

Telipyöräalustaista, omalla 195 kW käyttömootorilla varustettua perusmallia tutkittiin Vapo Oy:n terminaalihaketuksessa Rovaniemen mlk:n Someroharjussa kolmeen otteeseen. 20.-23.10.1986 tutkittiin hakkeen massaa, tiiviyttä ja palakokoa. 12.9.1986 ja 9.-12.3.1987 tutkittiin hakkeen palakokoa sekä haketustyön ajanmenekkiä ja tuottavuutta. Hakkurin vetokoneena oli Valtra HJ 50 X -kuormaimella (ulottuvuus 7,4 m) varustettu 4-vetoinen Valtra 915 -traktori (teho 77 kW). Hake kuljetettiin yhdellä nuppiautolla kolmelle eri lämpölaitokselle, jotka sijaitsivat 1, 15 ja 27 km etäisyydellä haketerminaalista, mistä syystä hakeauton odotusajat olivat poikkeuksellisen pitkiä.

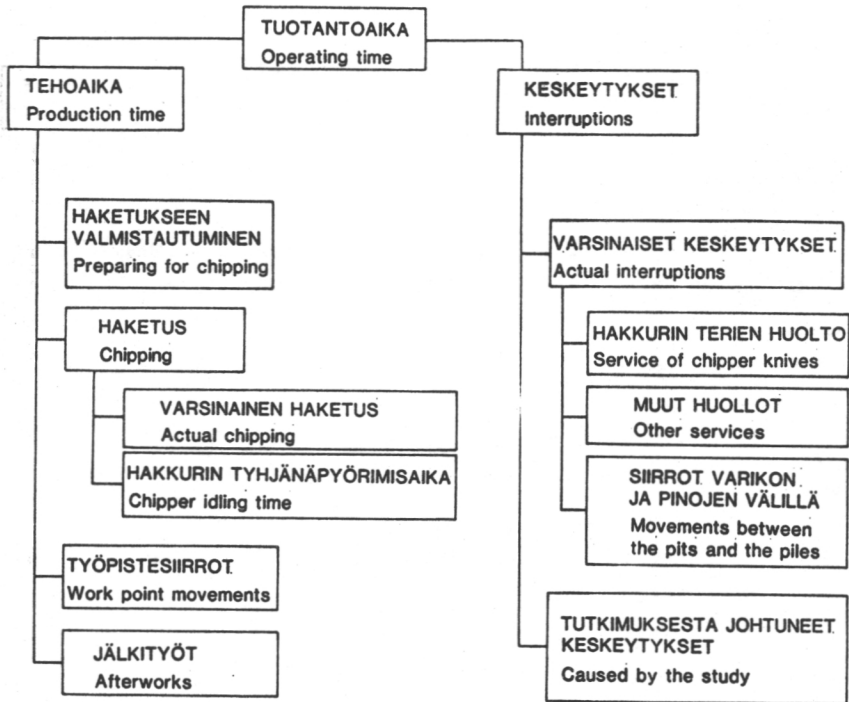
Sisu-kuorma-auton alustalle asennettua ja siitä käyttötehon saanutta, Fiskars C5 -hydraulikuormaimella varustettua versiota tutkittiin välivarastohaketuksessa Hämeenlinnassa ja Janakkalassa 5.-6.3.1986 ja uudelleen Hämeenlinnassa 25.-28.4.1986. Tutkimuksen kohteena oli hakkeen massa, tiiviys ja palakoko sekä haketusvaiheen ajanmenekki. Hakkuriin oli urakoitsijan pyynnöstä tehty perusmallia lyhyempi syöttöpöytä ja hieman erilainen hakeseula. Lisäksi hakepuun syöttönopeus suhteessa hakkurirummun pyörimisnopeuteen oli suurempi kuin perusmallissa. Näillä tekijöillä oli vaikutusta hakkeen palakokoon. Hake kuljetettiin kahdella nuppiautolla kahdelle eri lämpölaitokselle kuljetusmatkan ollessa 6 - 38 km.

Hakkeen massa-, tiiviys- ja lämpöarvotutkimuksia varten hakekuormat punnittiin ajoneuvovaa'alla, niiden kehystilavuudet mitattiin toimituspaikalla ja niistä otettiin kosteusnäytteet (menetelmät ks. Uusvaara ja Verkasalo 1987). Kosteusnäytteet käsiteltiin Metsäntutkimuslaitoksen laboratoriossa Helsingissä. Hakkeen tiiviyydet laskettiin kaavalla:

$$\text{Hakkeen tiiviys, } \frac{\text{m}^3}{\text{i-m}^3} = \frac{\text{Hakkeen kuivamassa, kg/i-m}^3}{\text{Hakepuun kuiva-tuoretiheys, kg/m}^3}$$

Hakepuun kuiva-tuoretiheydet määrättiin hakepuupinojen puulajisuhteiden, hakkeen keskimääräisen biomassan koostumuksen (Uusvaara ja Verkasalo 1987), pinoista otettujen kiekkonäytteiden kuiva-tuoretiheyden sekä oksien ja viheraineen keskimääräisen kuiva-tuoretiheyden (Uusvaara ja Verkasalo 1987) perusteella. Hakkeen teholliset lämpöarvot, MJ/i-m³, laskettiin eri puu- ja puutavaralajien absoluuttisen kuivan puukilon tehollisten lämpöarvojen, MJ/kg, sekä tässä tutkimuksessa mitattujen kuivamassojen, kg/i-m³, perusteella. Näistä ensin mainitut on Hakkila (1978) laskenut Olofssonin (1975) esittämien tulosten perusteella. Hakkeen palakokotutkimuksia varten otettiin joka hakekuormasta 10 - 15 l näyte, joka seulottiin Williams-reikäseulontamenetelmällä pituusjakauman ja ruotsalaisella Wennberg-menetelmällä selluhakeosuuden määrittämiseksi. Menetelmät on kuvannut esim. Juvenen ym. (1987). Lisäksi otettiin erikoisnäytteitä palakokojakauman sekä hakepuun järeyden ja hakkurin terien kunnan välisen yhteyden selvittämiseksi. Seulonnat suoritettiin osaksi Veitsiluoto Oy:n selluloosateollisuuden laboratoriossa Kemissä, osaksi Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla.

Haketustyön ajanmenekkitutkimuksia varten kirjattiin kuorma-autoalustaisen version välivarastohaketuksesta kuormakohdattaiset haketusajat yhden minuutin tarkkuudella. Telipyöräalustaisen perusmallin terminaalihaketuksesta tehtiin perinteinen kellotutkimus jatkuvuusmenetelmällä sekä haketuksesta lisäksi havainnointitutkimus frekvenssimenetelmällä (Kuitto 1979). Aikatutkimuksen kohteena oli tuotantoaika, joka jaettiin tehoaikaan ja keskeytyksiin. Lisäksi otettiin ylös tuotantoajan ulkopuolelle jäävät osatyöajat, joita olivat valmistelu-aika (traktorin ja hakkurin käyttäminen työpäivän



Kuva 4. Terminaalihaketuksen tuotantoajan jaottelu.
Fig. 4. Distribution of the operating time in terminal chipping.

alussa hydrauliiikka- ja vaihteistoöljyjen lämmittämiseksi) sekä väliaika (hakeauton odotus ja muut ulkoisista olosuhteista aiheutuneet keskeytykset). Tuotantoajan jaottelu osa-aikoihin eri työvaiheiden perusteella ilmenee tarkemmin kuvasta 4.

Haketukseen valmistautuminen käsitti kuljettajan siirtymisen varastopinolla traktorista käyttömoottorille ja sen sekä syöttölaitteen käynnistämisen, kuljettajan siirtymisen takaisin traktoriin, kierrosluvun nostamisen hydraulikuormaimen käyttökierroksille sekä kuormaimen esiin ottamisen traktorin edestä. Haketusaika jaettiin varsinaiseen haketusajaan (haketorvesta tulee ulos haketta) ja hakkurin tyhjänäpyörimisaikaan (haketorvesta ei tule haketta). Työpistesierrot käsittivät hakkurin ja hakeauton siirtämiset yhden pinon vierellä tai pinolta toiselle haketuksen edistytessä. Haketuksen jälkityöt käsittivät pinojen pohjan siistimisen, kuormaimen kiinnittämisen traktorin eteen sekä kuljettajan siirtymisen käyttötraktorille ja sen sekä syöttölaitteen pysäyttämisen.

Keskeytykset jaettiin varsinaisiin ja tutkimuksesta johtuneisiin. Varsinaisia keskeytyksiä olivat hakkurin terien huolto (ajo pinolta varikolle, terien hionta tai vaihto, ajo varikolta pinolle), muut huollot (hydraulikuormaimen letkujen kiristäminen haketustyön aikana) ja siirrot varikon ja pinojen välillä. Tutkimuksesta johtuneet keskeytykset olivat hakekuorman mittauksesta ja hakenäytteiden ottamisesta aiheutuneita keskeytyksiä. Hakeauton odotus käsitti ajan, jonka hakeauto käytti ajoon lämpölaitokselle, kuorman purkuun ja ajoon takaisin terminaaliin vähennettynä näiden työvaiheiden aikana suoritettuihin muihin työvaiheisiin (pinojen pohjan siistiminen, hakkurin terien ym. huolto ja korjaus) käytetyllä ajalla.

Havainnointitutkimuksessa selvitettiin kuljettajan ajankäyttöä havainnoinnin kohdistuessa kuormaimen hallintaan ja syöttölaitteen toimintaan (havainnointiväli 10 s). Havainnointi aloitettiin hetkestä, jolloin kuljettaja siirtyi traktorilta hakkurin käyttömoottorille käynnistääkseen sen ja syöttölaitteen, ja lopetettiin hetkeen, jolloin käyttömoottori ja syöttölaite oli pysäytetty ja kuormain asetettu kuljetusasentoon. Myös haketusvaiheen aikana sattuneet keskeytykset, jotka olivat pelkästään kuormaimen letkujen kiertämisiä, kirjattiin ja otettiin huomioon kuljettajan ajankäytön rakennetta laskettaessa. Kuljettajan ajankäyttö jaettiin seuraaviin osa-aikoihin:

1. Haketukseen valmistautuminen: Kuljettaja siirtyy traktorista käyttömoottorille, käynnistää sen ja syöttölaitteen, siirtyy takaisin traktoriin, nostaa traktorin kierrosluvun hydraulikuormaimen käyttökierroksille ja ottaa esiin kuormaimen traktorin edestä.
2. Kouran siirto tyhjänä: Kouraa siirretään noutamaan taakkaa.
3. Kouraisu: Kouralla tartutaan taakaan.
4. Kouran siirto kuormattuna: Taakkaa siirretään kouralla hakkurin syöttölaitteen ulottuville.
5. Puiden asettelu syöttölaitteeseen: Taakkaa asetellaan syöttölaitteeseen laskemalla, huojuuttamalla tai hajonneen taakan puita keräilemällä.
6. Syötön auttaminen: Taakkaa työnnetään kouralla syöttölaitteeseen tai syöttölaitteen toimintaa säädellään kauko-ohjauksella syötön auttamiseksi, jolloin kuormainta ei voida käyttää varsinaiseen kuormaukseen.
7. Odotus syötössä: Edellisen taakan haketuksen päättymistä odotetaan pitäen kourassa uutta taakkaa.
8. Puiden irrotus kasasta: Yhteen jäätyneitä, oksistaan toisiinsa tarrautuneita tai sekaisin olevia puita irrotetaan pinosta kouralla sopivan kokoisen taakan aikaansaamiseksi.
9. Työpistesiirot: Hakkuria ja/tai hakeautoa siirretään pinon vierellä tai pinolta toiselle haketuksen aikana.
10. Siirtymisen valmistelu haketuksen jälkeen: Koura kiinnitetään traktorin eteen ja kuljettaja siirtyy traktorista käyttömoottorille pysäyttäen sen ja syöttölaitteen.

Taulukko 1. Tutkimusaineiston koko ja ominaisuudet.
Table 1. Size and properties of the study material.

Telipyörälustainen perusmalli The standard model on a trailer with boggie						
Hakepuu Chipwood	Kuivuusaste Degree of dryness	$d_{1,3}$, cm DBH, cm	Kuormia, kpl Number of loads	Haketta - Chips Irto- m^3 Loose m^3	Kiinto- m^3 Solid m^3	Kuljetus- matka, km Transport distance, km
Hakkeen massa-, tiiviys- ja palakotutkimusaineisto: Study material for weight, solid content and particle size studies of chips:						
Sekahavukokopuu ¹ Mixed softwood whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	5	10	405,0	160,8	2/30
Koivukokopuu Birch whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	7	10	405,0	168,9	2/30
Aikatutkimusaineisto: Time study material:						
Koivukokopuu Birch whole tree	Tuore Green	7	13	480,0	182,4	1/30
Mäntykokopuu ² Pine whole tree ²	Tuore Green	5	3	113,9	47,8	1
Koivukuitupuu Birch pulpwood	Kesävarastoitu Stored during summer	19	2	72,2	28,9	10
Sekahavukokopuu ¹ Mixed softwood whole tree ¹	Kesävarastoitu Stored during summer	5	2	81,0	34,0	1
Autoalustainen versio Truck mounted version						
Hakepuu Chipwood	Kuivuusaste Degree of dryness	$d_{1,3}$, cm DBH, cm	Kuormia, kpl Number of loads	Haketta - Chips Irto- m^3 Loose m^3	Kiinto- m^3 Solid m^3	Kuljetus- matka, km Transport distance, km
Hakkuutähde Slash	Tuore Green	-	14	477,6	175,8	6/38
Sekalehtikuitupuu Mixed hardwood pulpwood	Tuore Green	9	3	93,9	32,2	6
Pajukokopuu Willow whole tree	Tuore Green	3	2	72,2	18,5	38
Leppäkokopuu Alder whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	7	1	36,0	14,7	25
¹ Hakepuu erittäin kivistä ja hiekkaista Wood containing a lot of stones and sand				² Hakepuu lievästi hiekkaista Wood containing a little sand		

11. Haketorven suuntaus: Haketorvea käännetään tai lippaa suunnataan, jotta kuorma saataisiin haketettua täyteen.
12. Kouran säätö: Kouran hydrauliletkujen kiinnityspultteja kiristetään.

Havainnointitutkimuksen yhteydessä laskettiin hakkuriin syötettyjen taakkojen lukumäärä taakan keskikoon laskentaa varten. Lisäksi seurattiin hakkurin terien kuntoa sekä niiden hiontoja ja vaihtoja palakokojaukauma- ja ajanmenekkitulosten tarkastelua varten.

Tutkimusaineiston koko ja ominaisuudet ilmenevät taulukosta 1. Telipyöräalustaisen perusmallin aineistossa sekahavukokopuu sisälsi kuusta 60 %, mäntyä 30 % ja koivua 10 % ja se sisälsi hyvin paljon kiviä ja hiekkaa. Autoalustaisen version aineistossa hakkuutähde sisälsi kuusta 80 % ja mäntyä 20 %. Sekalehtikuitupuu sisälsi raitaa 65 %, pihlajaa 30 % ja leppää 5 %. Hakkeen kiintotilavuudet on laskettu mitatuista irtotilavuuksista luvussa 6 esitettyjen keskimääräisten tiiviyslukujen avulla. Hakekuormien keskikoko oli Hämeenlinnassa ja Janakkalassa $35,8 \text{ i-m}^3$ ($12,7 \text{ m}^3$) ja Rovaniemellä $38,9 \text{ i-m}^3$ ($15,6 \text{ m}^3$). Keskikuljetusmatkat olivat vastaavasti 27 km ja 9 km.

5. TULOKSET JA VERTAILU MUIHIN HAKKUREIHIN

51. Haketustyön ajanmenekki ja tuottavuus

Haketuksen ajanmenekki ja tuottavuus riippuvat ratkaisevasti työvaikeustekijöistä, jotka liittyvät:

1. Hakepuun ominaisuuksiin

- puulaji
- puutavaralaji
- kuivuusaste

- läpimitta
 - pituus
 - epäpuhtaudet (hiekkä, kivet, ym.)
2. Työskentelyoloihin
- kuormauspaikkaluokka (työskentely- ja kääntymistilat, kantavuus, pinojen koko ja laatu)
 - vuodenaika (pinojen lumisuus ja jäätyneisyys, lämpötila)
3. Työn organisointiin
- työmaasiirrot
 - hakeauton odotukset
 - hakkurin terien huolto

TT 97 R -hakkurin ajanmenekki- ja tuottavuustutkimukset olivat pikatestauksen luonteisia. Seurantatutkimusta ei tehty, joten vertailuja muihin hakkureihin on mahdollista tehdä vain tehoajassa mitatun tuottavuuden ja haketusvaiheen ajanmenekin osalta.

Terminaalihaketuksen ajanmenekki oli taulukon 2 mukainen. Niiden työvaiheiden ajanmenekit, jotka eivät riipu hakepuun ominaisuuksista, on laskettu keskimääräisinä erilaiselle hakepuulle. Haketukseen valmistautumisen osuus tehoajasta oli varsin kohtuullinen, 2,2 - 3,6 %. Osuus on sitä suurempi mitä nopeampaa on haketus. Välivarastohaketuksessa se on ollut TT 97 R -hakkuria pienemmällä TT 1000 TU -hakkurilla 0,8 - 1,4 % (Hovila 1981) ja sitä suuremmalla TT 1500 LP -hakkurilla 2 - 12 % (Kuitto 1987). Haketuksen osuus tehoajasta oli 88,4 - 92,7 % ollen suurimmillaan poikkeuksellisen hiekkaisella sekahavukokopuulla. Osuus oli samaa suuruusluokkaa kuin TT 1000 TU- ja TT 1500 LP -hakkureilla. Hakkurin tyhjänäpyörimis aika oli korkea - sekahavukokopuulla 23,8 %, koivukokopuulla 31,2 %, mäntykokopuulla 37,4 % ja koivukuitupuulla 49,3 % haketusajasta (TT 1000 TU:lla vain 13,2 - 39,4 %, Hovila 1981). Tämä johtui siitä ettei syöttölaitteeseen pystytty kuormaamaan taakkoja syöttöno-

Taulukko 2. Haketustyön ajanmenekki ja sen rakenne terminaalihaketuksessa
 Table 2. Time consumption of chipping and its structure in terminal chipping

Työvaihe Work phase	Koivukokopuu Birch whole tree cmin/m ³ ja %	Mäntykokopuu Pine whole tree cmin/m ³ ja %	Koivukuitupuu Birch pulpwood cmin/m ³ and %	Sekahavukokopuu Mixed softwood whole tree
Haketukseen valmis- tautuminen	8 3,5	8 3,3	8 3,6	8 2,2
Preparing for chipping				
Haketus	202 88,6	214 89,2	198 88,4	332 92,7
Chipping	(136) (59,6)	(134) (55,8)	(100) (44,6)	(253) (70,1)
- Varsinainen haketus	(66) (29,0)	(80) (33,4)	(98) (43,8)	(79) (22,6)
- Actual chipping				
- Hakkurin tyhjäkäi- pyörimisaika				
Idling of chipper				
Työpistesiiirrot	6 2,6	6 2,5	6 2,7	6 1,7
Work point movements				
Jälkityöt	12 5,3	12 5,0	12 5,3	12 3,4
Post works				
Teho-aika yhteensä	228 100,0	240 100,0	224 100,0	358 100,0
Total production time				
Keskeytykset	63	84	22	133
Interruptions				
- Hakkurin terien huolto	(38)	(60)	(0)	(111)
Service of chipper knives				
- Muut huollot	(3)	(2)	(0)	(0)
Other services				
- Siirrot varikon ja pinojen välillä	(22)	(22)	(22)	(22)
Movements between the pits and the piles				
Tuotantoaika yhteensä	291	324	246	491
Total operating time				

peuden mahdollistamassa tahdissa. Käytännössä tyhjänäpyörimisaika ja haketuksen ajanmenekki olivat pienimmillään, kun taakat olivat pisimmillään. Ilmeisesti tästä syystä on parhaimpaan haketusnopeuteen päästy sahapinnalla, jolla haketusvaiheen ajanmenekki oli eräässä tapauksessa vain 105 cmin/m³.

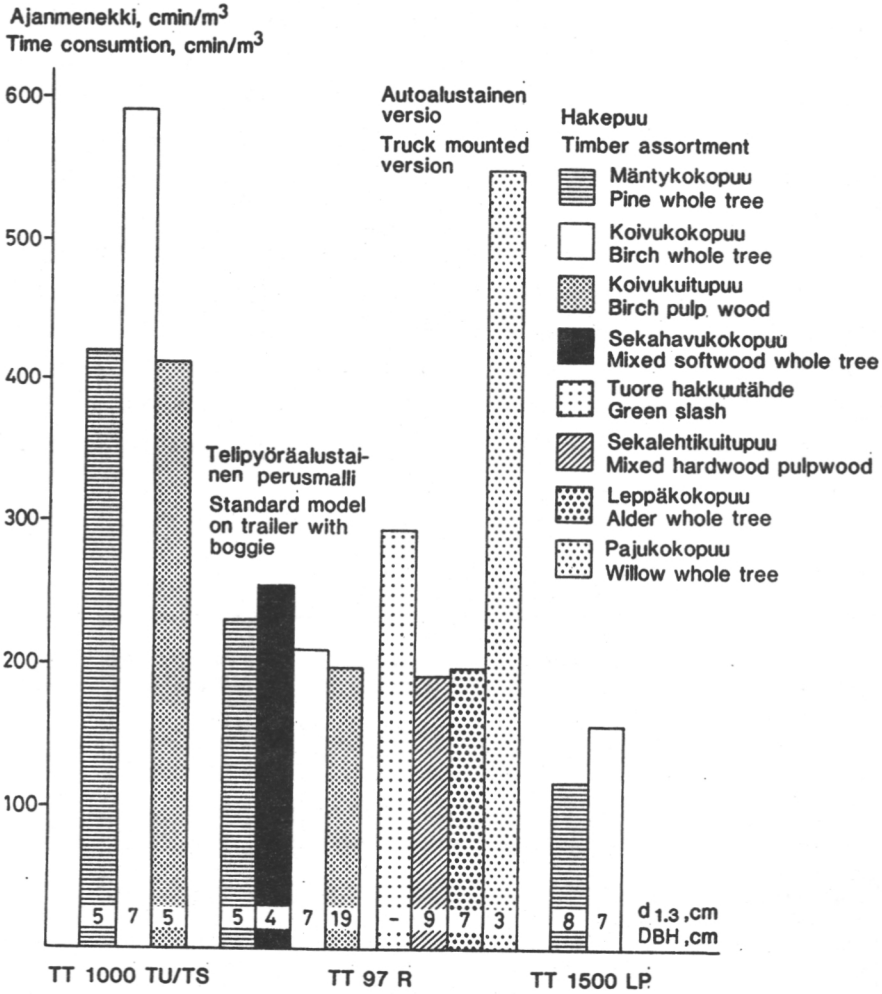
Hakkurin ajonopeus siirtoajossa varikolta pinolle ja takaisin oli keskimäärin 29 m/min. Nopeus oli suhteellisen alhainen, kun vertailukohtana käytetään palstahakkureilla mitattuja palstalla-ajonopeuksia, jotka ovat olleet traktorivetoisella TT 1000 TS:llä 20 - 22 m/min (Hovila 1981) ja metsätraktorialustaisella TT 1000 F:llä 41 - 43 m/min (Melkko 1975).

Keskeytyksen osuus oli 8,9 - 27,1 % tuotantoajasta ja 9,8 - 37,2 % tehoajasta laskettuna (taulukko 3). Kokopuuta haketettaessa suurin osa keskeytyksistä, 60,3 - 87,5 %, johtui hakkurin terien huollosta. Sekahavukokopuuerä oli tässä suhteessa huonointa, käytännössäkin vain poikkeuksellisesti esiintyvää hakepuuta. Koivukuitupuuta haketettaessa ei teriä jouduttu huoltamaan ollenkaan. Koko tutkimusjakson aikana jouduttiin hakkurien terät vaihtamaan vain kerran mikä johtui osittain terien toistuvasta hiomisesta hakeauton odotusten aikana. Kaikkien keskeytysten osuus hakkurin työajasta oli poikkeuksellisen korkea, 52,9 %, kun se TT 1500 LP -hakkurilla suoritettussa välivarastohaketuksessa on ollut keskimäärin 38,4 % (Kuitto 1987). Tulos johtui pitkistä hakeauton odotusajoista (hakkeen kuljetus suoritettiin yhdellä hakeautolla). Kone- ja organisaatiokeskeytyksen keskinäinen suhde oli 1:4, mikä oli samaa suuruusluokkaa kuin TT 1500 LP -hakkurilla.

Pelkän haketusvaiheen ajanmenekin perusteella voidaan tehdä vertailuja hakkureiden teknisestä toimivuudesta (kuva 5). Tällä perusteella arvioituna haketus oli TT 97 R -hakkurilla 80 - 190 % nopeampaa kuin TT 1000 TU ja TS -hakkureilla (Hovila 1981), mutta kuitenkin 25 % hitaampaa kuin TT 1500 LP -hakkurilla (Kuitto 1987). Tavanomaisista hakepuula-jeista oli nopeinta koivukuitupuun ja leppäkokopuun ja hi-

Taulukko 3. Haketustyön keskeytykset ja niiden syyt terminaalihaketuksessa.
Table 3. Interruptions of chipping and their causes in terminal chipping.

Keskeytyksen syy Cause of the interruption	Ajanmenekki, cmin/m ³ Time consumption, cmin/m ³	Osuus - keskeytyksistä interruptions %	Share of työajasta work time
Konekeskeytykset			
Machine interruptions			
Hakkurin terien huolto Service of chipper knives	45	13	6,9
Muut huollot Other services	2	1	0,3
Yhteensä Total	47	14	7,2
Organisaatiokeskeytykset			
Organization interruptions			
Siirrot varikon ja pinojen välillä Movements between the pits and the piles	22	6	3,4
Hakeauton odotus Waiting for the truck	276	80	42,3
Yhteensä Total	298	86	45,7
Yhteensä Total	345	100	52,9



Kuva 5. Haketusvaiheen ajanmenekki, hakkurien välinen vertailu.

Fig. 5. Time consumption of chipping phase, comparison between chippers.

Lähteet - References: TT 1000 TU/TS - Hovila 1981, TT 1500 LP - Kuitto 1987

tainta hakkuutähteen haketus. Mäntykokopuun haketus oli normaalista poiketen koivukokopuun haketusta hitaampaa pienemmän puun koon ja pinojen lievän hiekkaisuuden vuoksi. Koivukokopuun haketuksessa todettiin 2 cm muutoksen rinnankorkeuslähimittassa aiheuttavan 15 % muutoksen haketuksen ajanmenekissä, kun vertailukohtana oli 7 cm rinnankorkeuslähimittaluokka.

Yhden taakan haketusaika kuvastaa kuormaimen, syöttölaitteen ja varsinaisen hakkuriosan yhteistä tehokkuutta (taulukko 4). Se riippuu taakan koosta (tilavuus, pituus) ja muodosta sekä hakepuulajista (puuaineen kovuus, oksien sitkeys). Yhden taakan haketus oli TT 97 R -hakkurilla 20 % nopeampaa kuin TT 1000 TU -hakkurilla (koivukuitupuun koh-

Taulukko 4. Yhden taakan haketusaikojen vertailu.
Table 4. Comparison of chipping times per bunch.

Hakepuu Chipwood	Taakka - Bunch						Haketusaika, cmin Chipping time, cmin		
	Pituus, dm Length, dm			Tilavuus, dm ³ Volume, dm ³			1	2	3
	1	2	3	Hakkuri - Chipper					
Mäntykokopuu Pine whole tree	65	50	90	88	133	185	37	28	22
Koivukokopuu Birch whole tree	71	78	90	67	157	250	40	32	43
Koivukuitupuu Birch pulpwood	38	30	-	62	154	-	26	31	-
Sekahavukokopuu Mixed softwood whole tree	-	50	-	-	113	-	-	37	-

Hakkuri - Chipper:
1 = TT 1000 TU/TS
2 = TT 97 R
3 = TT 1500 LP

Lähde - Reference:
Hovila 1981
Kuitto 1987

Taulukko 5. Haketustyön tuottavuusvertailu teho- ja tuotantoajassa. Nuppiautokuumien haketus.
Table 5. Comparison of outputs per production and operating hour when chipping into a truck.

Hakepuu Chipwood	TT 1000 TU/TS		Hakkuri - Chipper TT 97 R		TT 1500 LP	
	Tehoajassa Per production hour	Tuotantoajassa Per operating hour	Tehoajassa Per production hour	Tuotantoajassa Per operating hour	Tehoajassa Per production hour	Tuotantoajassa Per operating hour
Mäntykokopuu Pine whole tree	10,6	8,5	25,0	18,5	48	27
Koivukokopuu Birch whole tree	9,2	8,1	26,3	20,6	35	30
Koivukuitupuu Birch pulpwood	13,9	11,1	26,8	24,4	-	-
Sekahavukokopuu Mixed softwood whole tree	-	-	16,8	12,2	-	-

Lähteet: TT 1000 TU/TS Hovila 1981
References: TT 1500 LP Kuitto 1987

dalla vertailu ei anna oikeudenmukaista tulosta hakepuun suuren järeyseron vuoksi). TT 1500 LP -hakkuriin verrattuna tulokset olivat epäyhtenäiset. Taakan pituusyksikköä kohti laskettuna TT 97 R -hakkurin haketusnopeudet hieman heikkenivät esitetyistä vertailuhakkureihin verrattuna.

Haketustyön tuottavuus tehoajassa oli 16,8 - 26,8 m³/h (taulukko 5). Se oli peräti 140 - 200 % parempi kuin TT 1000 TU -hakkurilla mutta kuitenkin 25 - 48 % huonompi kuin TT 1500 LP -hakkurilla. Haketustyön tuottavuus tuotantoajassa oli vastaavasti 12,2 - 24,4 m³/h. Terminaaliolosuhteet myötävaikuttivat mitä ilmeisimmin hyvään tuottavuuteen.

Hakkurin kuljettajan ajasta kului kuormaimen käsittelyyn 71 - 77 % (taulukko 6). Koivukuitupuuta hakettaessa tämä osuus oli muita hakepuulajeja pienempi, koska suurimpien puiden syöttöä oli säädeltävä syöttölaitteen kauko-ohjauksella, jolloin kuormainta ei voitu käyttää samanaikaisesti. Koivukuitupuuta ja hiekkaista sekahavukokopuuta hakettaessa syöttöä olikin autettava moninkertaisesti mänty- ja koivukokopuuta enemmän. Puiden asettelu syöttölaitteeseen vei pitkää ja oksaista koivukokopuuta ja sekaisissa pinoissa ollutta sekahavukokopuuta hakettaessa selvästi enemmän aikaa kuin lyhyttä ja vähäoksaista mäntykokopuuta ja koivukuitupuuta hakettaessa. Lähinnä puiden asetteluun takia kuljettaja pystyi käyttämään vain 41,9 - 63,9 % ajastaan varsinaiseen kuormaukseen (kouran siirto tyhjänä ja kuormattuna sekä kouraisu).

Taulukko 6. Hakkurin kuljettajan ajankäytön rakenne.
Table 6. Structure of the time expenditure by the chipper operator.

Työvaihe Work phase	Koivu- kokopuu Birch whole tree	Mänty- kokopuu Pine whole tree	Koivu- kuitupuu Birch pulpwood	Sekahavu- kokopuu Mixed softwood whole tree
	Osuus ajankäytöstä, % Share in time expenditure, %			
Haketukseen valmistautuminen Preparing for chipping	3,9	3,5	3,0	1,4
Kouran siirto tyhjänä Moving the grapple when empty	19,6	26,8	22,1	12,5
Kouraisu Grappling	7,0	6,9	10,1	8,9
Kouran siirto kuormattuna Moving the grapple when loaded	24,4	30,2	26,9	20,5
Puiden asettelu syöttölaiteeseen Placing of trees into the feeding device	23,0	13,1	12,4	29,5
Syötön auttaminen Assisting the feeding	3,3	1,4	17,0	14,6
Odotus syötössä Waiting during the feeding	2,9	0,4	0,0	2,8
Puiden irrotus kasasta Pulling the trees from the pile	8,6	9,8	3,8	5,1
Työpistesiirot Work point movements	0,8	2,1	0,6	2,8
Siirtymisen valmistelu haketuksen jälkeen Preparing for moving after chipping	4,9	4,8	3,9	1,8
Haketorven suuntaus Directing the spout	0,6	0,3	0,2	0,1
Kouran korjaukset Grapple repairs	1,0	0,7	0,0	0,0
Yhteensä Total	100,0	100,0	100,0	100,0

52. Hakkeen palakokojakauma

Taulukossa 7 on esitetty Williams-reikäseulonnalla mitatut äärijakeiden osuudet hakkeen pituusjakaumasta. Paras, vähiten äärijakeita sisältävä hake saatiin luonnollisesti kuitupuusta ja huonoin hakkuutähteestä. Telipyöräalustaisen perusmallin ja autoalustaisen version välillä oli hakkeen laatua ensin mainitun hyväksi kallistavia eroja hakkurin ja syöttölaitteen rakenteessa (ks. luku 4). Mainittakoon, että reikäseulontamenetelmä yliarvioi hienojakeen ja aliarvioi ylipitkän jakeen osuuksia (Mäkelä 1977).

TT 97 R -hakkurin hake sisälsi koivukokopuuhaketta lukuunottamatta korkeintaan yhtä paljon ylipitkää jaetta ja vähemmän hienojaetta kuin TT 1000 TU/TS -hakkurin hake. Ylipitkä jae oli kokopuu- ja hakkuutähdehakkeessa lämpölaitosten kuljetin- ja syöttölaitteilla tukkeutumia ja hakesiiloissa holvautumia aiheuttavia tikkuja ja oksanpätkiä (Kalaja 1984) ja kuitupuuhakkeessa tavallisia hakepaloja. Silmävaraisten havaintojen perusteella todella haitallisia, yli 30 cm pituisia oksanpätkiä ei TT 97 R -hakkurin hakkeessa ollut lainkaan, mikä oli tarkan, kokopuun latvapäätkäin vaikkioasennossa hakkurirumpua vasten puristavan syöttölaitteen ja ylisuuret oksanpätkät hakkeesta erottavan seulan ansiosta. TT 1500 LP -hakkuriin verrattuna kokopuu-hake oli selvästi pitempää ja kuitupuuhake jonkin verran lyhyempää. Hakkeen pituus oli TT 97 R ja TT 1000 TU/TS -hakkureissa säädetty 30 mm:ksi, TT 1500 LP -hakkurissa 27 mm:ksi.

Kuvassa 6 on esitetty Wennberg-seulontatulokset, jotka kuvaavat hakkeen laatua sulfaattisellun raaka-aineena. Seulomattomassa hakkeessa tulisi tavoitearvojen mukaan olla hyväksyttyä jaetta yli 65 %, tikku- ja purujaetta alle 15 % ja ylipaksua ja ylisuurta jaetta alle 20 % (Kuitto 1987). TT 97 R -hakkuri ei rumpuhakkurina täyttänyt näitä vaatimuksia. Telipyöräalustaisen perusmallin hakkeessa oli koi-

Taulukko 7. Äärijakeiden osuus hakkeen pituusjakaumasta (Williams-reikäseulonta), hakkurien välinen vertailu.

Table 7. Share of the extreme fractions in the length distribution of chips (Williams hole screening), a comparison between chippers.

Hakepuu Chipwood	TT 1000 TU/TS		Hakkuri - Chipper TT 97 R		TT 1500 LP	
	<6 mm	>32 mm	Pituusjake, mm - Fraction length, mm		<6 mm	>32 mm
			<6 mm	>32 mm		
Osuus tuoremassasta, % - Share of green weight, %						
Mäntykokopuu Pine whole tree	16,9	15,3	9,3 ¹	15,6 ¹	22,5	2,1
Koivukokopuu Birch whole tree	7,4	19,4	6,2 ¹	26,8 ¹	11,7	7,9
Koivukuitupuu Birch pulpwood	7,7	12,6	8,1 ¹	8,5 ¹	4,9	16,6
Sekahavukokopuu Mixed softwood whole tree	21,0	8,4	14,2 ¹	9,6 ¹	-	-
Tuore hakkuutähde Green slash	-	-	19,4 ²	8,7 ²	-	-
Sekalehtikuitupuu Mixed hardwood pulpwood	4,4	32,5	13,6 ²	13,0 ²	-	-
Leppäkokopuu Alder whole tree	17,6	24,9	7,9 ²	19,5 ²	-	-
Pajukokopuu Willow whole tree	-	-	9,9 ²	7,2 ²	-	-

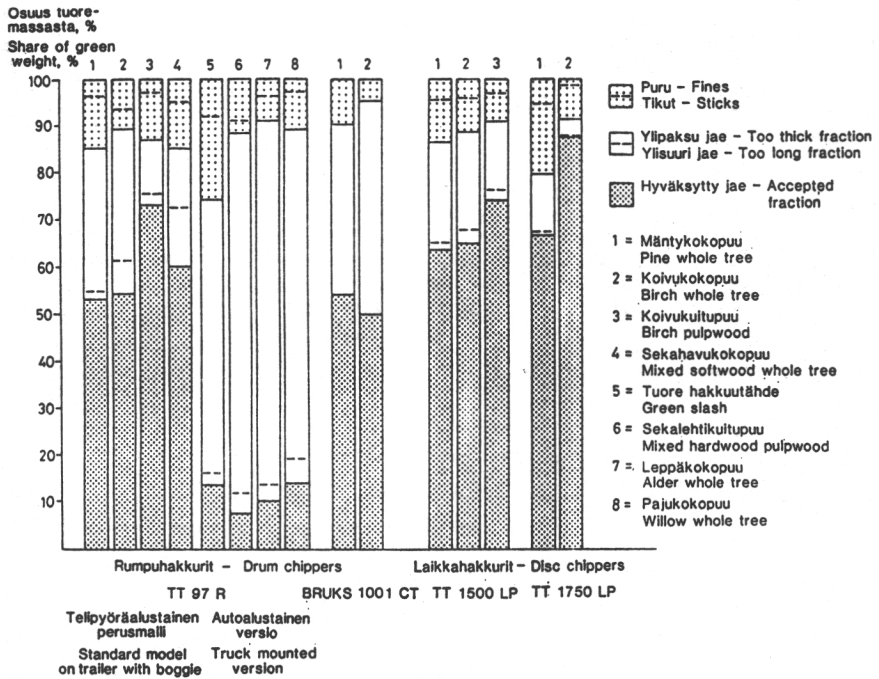
¹ Telipyörälustaisen perusmallin haketta
Chips made by standard model on a trailer with boggie

² Autoalustaisen version haketta
Chips made by truck mounted version

vukuitupuuhaketta lukuunottamatta, jota ei normaalisti korjata selluteollisuuden raaka-aineeksi, hyväksytyä jaetta vain 53,2 - 60,0 %. Pieni osuus johtui nimenomaan hakkeen paksuudesta (murumaisuudesta) - ylipaksua jaetta oli 12,5 - 30,3 %. Autoalustaisen version hakkeessa hyväksytyä jaetta oli hämmästyttävän vähän, 7,4 - 13,9 % ja ylipaksua jaetta vastaavasti hyvin paljon, 60,6 - 84,0 %. Tulos lienee selitettävissä rakenteellisilla muutoksilla, joita hakkuriin oli tehty perusmalliin verrattuna (ks. luku 4).

Hakepuun järeytyessä mäntykokopuuuhake hieman lyheni ja koivukokopuuuhake hiukan selvemmin pitenei (kuva 7). Erisuun-

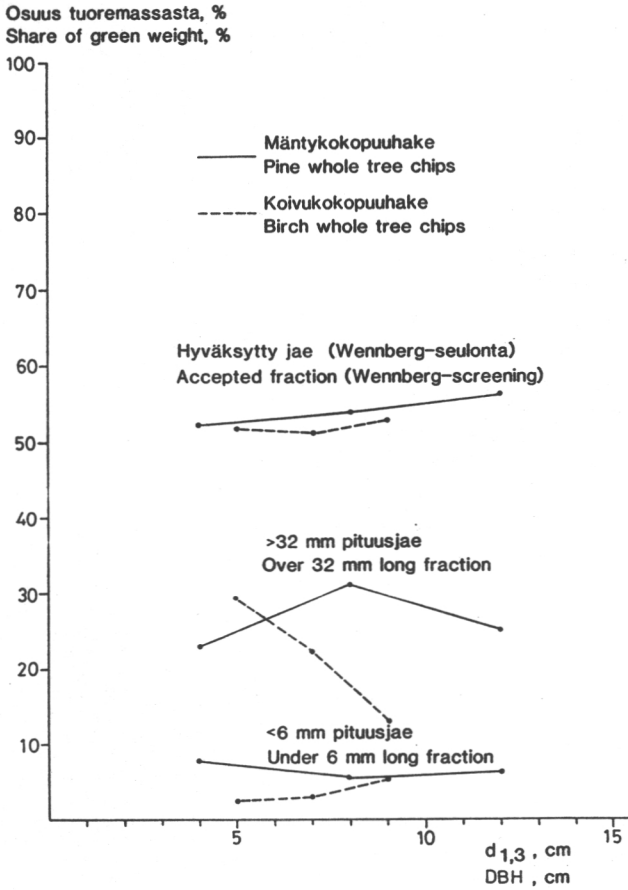
taiset tulokset johtuivat ilmeisesti oksien hakettavuus-eroista: puun järeytyessä oksien osuus puun biomassasta pienenee, mutta ne järeytyvät (Hakkila 1971). Tällöin koi-vun oksat männyn oksia kovempina ja sitkeämpinä (Kärkkäinen 1977) hakettuvat huonommin. Hakepuun järeytyminen lisäsi kuitenkin molemmilla hakelajeilla hyväksytyn jakeen osuutta Wennberg-seulonnassa.



Kuva 6. Hakkeen laatu sulfaattisellun raaka-aineena (Wennberg-seulonta), hakkurien välinen vertailu.

Fig. 6. Quality of the chips as a raw material of sulphate pulp (Wennberg screening), comparison between chippers.

Lähteet - References: Bruks 1001 CT - Nissi 1984; TT 1500 LP - Uusvaara ja Verkasalo 1987; TT 1750 LP - Kuitto 1987

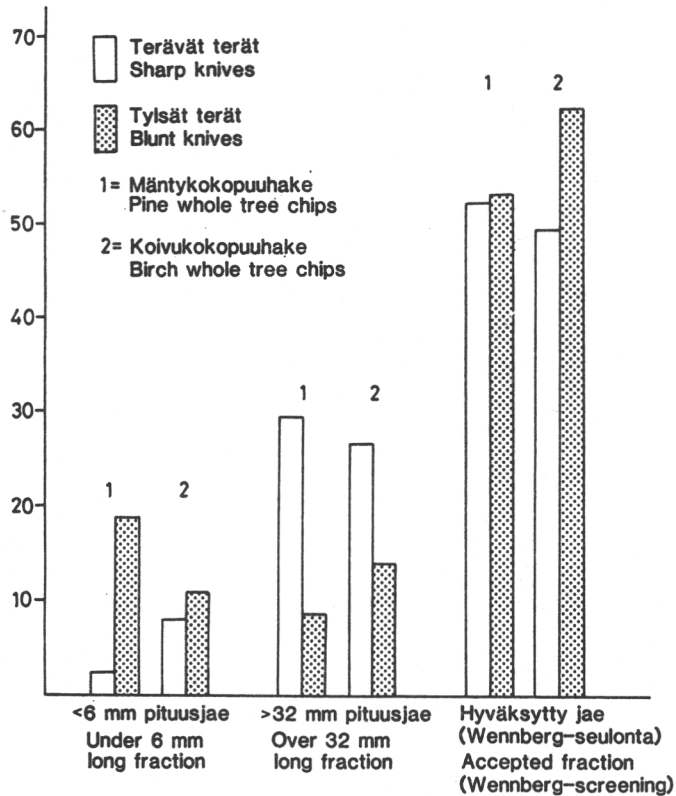


Kuva 7. Hakepuun rinnankorkeusläpimitan vaikutus äärijakeiden ja Wennberg-seulonnan hyväksytyn jakeen osuuteen mänty- ja koivukokopuuhakkeessa.

Fig. 7. The effect of DBH on the share of the extreme fractions and the accepted fraction in Wennberg screening in pine and birch whole tree chips.

Hakkurin terien tylsyessä hake lyheni selvästi, koska tylsillä terillä hakettaessa puu pyrki pikemminkin murskaumaan muruiksi kuin hakettumaan lastuiksi (kuva 8). Samalla myös ylipaksun jakeen osuus Wennberg-seulonnassa pieneni selvästi, mikä aiheutti hyväksytyn jakeen osuuden yllättä-

Osuus tuoremassasta, %
Share of green weight, %



Kuva 8. Hakkurin terien kunnan vaikutus äärijakeiden ja Wennberg-seulonnan hyväksytyyn jakeen osuuteen mänty- ja koivukokopuuhaakkeessa.

Fig. 8. The effect of the condition of the chipper knives on the share of the extreme fractions and the accepted fraction in Wennberg screening in pine and birch whole tree chips.

vän kasvun. Hakepalojen pituuden ja paksuuden välillä on aiemmin todettu selvä riippuvuus (esim. Mäkelä 1977). Tylsillä terillä saatiin muodoltaan epämääräisiä, päistään repeilleitä ja tyssäntyneitä hakepaloja, joten tylsillä terillä tehty hake ei toki liene ainakaan parempaa kuin terävillä terillä tehty.

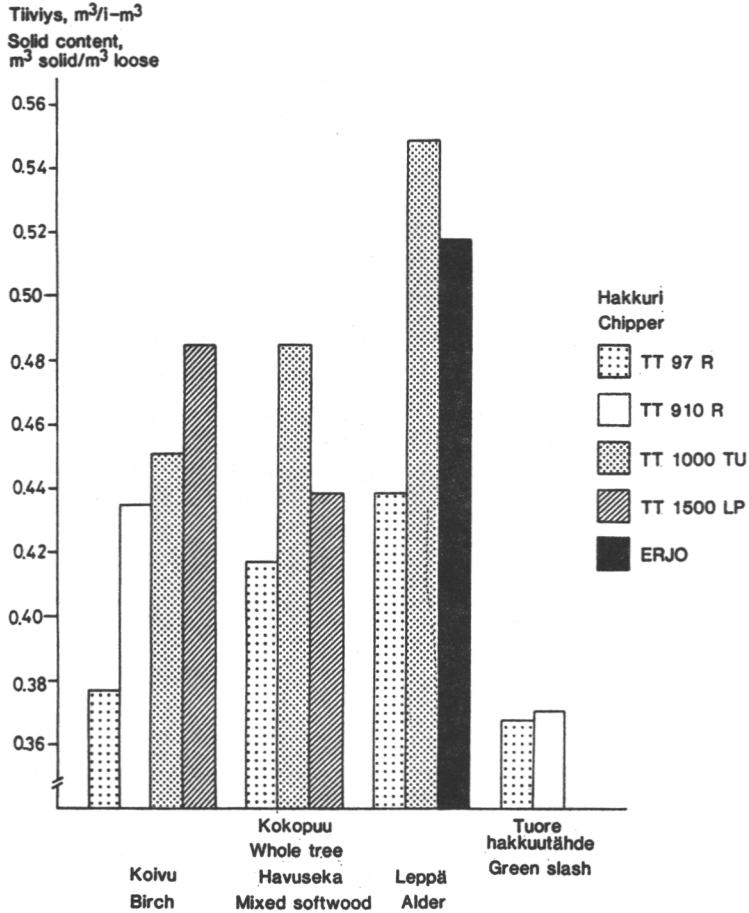
53. Hakkeen tiiviys, massa ja tehollinen lämpöarvo

Hakkeen tiiviys eli kiintotilavuusprosentti ilmaisee irtotilavuusyksikön sisältämän biomassan kiintotilavuuden. Tiiviys riippuu sekä hakkurin (toimintaperiaate, kuormausmenetelmä) että hakepuun (puulaji, puitavalaraji, kuivuusaste, biomassan koostumus, jäätyneisyys) ominaisuuksista (Uusvaara ja Verkasalo 1987). Taulukosta 8 ilmenevät laskennallisesti määritetyt hakkeen tiiviudet toimituspaikalla sekä mitattujen kuivamassojen ohella laskentaperusteena käytetyt

Taulukko 8. Hakkeen tiiviys toimituspaikalla ja laskentaperusteena käytetty kuiva-tuoretiheys.

Table 8. Solid content of the chips at the delivery point and the basic density used as a basis for calculation.

Hakepuu Chipwood	Kuivuusaste Degree of dryness	Tiiviys, m ³ /i-m ³ Solid content, m ³ solid/m ³ loose	Laskentaperusteena käytetty kyllä-tuore- tiheys, kg/m ³ Basic density used as a basis for calculation, kg/m ³
Koivukokopuu Birch whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	0,377	453,6
Sekahavukoko- puu Mixed soft- wood whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	0,417	365,2
Leppäkokopuu Alder whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	0,439	361,0
Pajukokopuu Willow whole tree	Tuore Green	0,253	554,9
Sekalehti- kuitupuu Mixed hard- wood pulpwood	Tuore Green	0,343	490,8
Hakkuutähde Slash	Tuore Green	0,368	435,0



Kuva 9. Hakkeen tiiviys, hakkurien välinen vertailu (Uusvaara ja Verkasalo 1987).

Fig. 9. Solid content of the chips, a comparison between chippers (Uusvaara and Verkasalo 1987).

hakkeen kuiva-tuoretiheydet. Tiiviys oli korkeimmillaan leppäkokopuuhakkeella 0,439 ja alhaisimmillaan pajukokopuuhakkeella 0,253. Kokopuuhakkeen tiiviys oli 13 - 17 % alhaisempi kuin TT 910 R- ja Erjo hakkurilla, 14 - 20 % alhaisempi kuin TT 1000 TU -hakkurilla ja 5 - 23 % alhaisempi

kuin TT 1500 LP -hakkurilla tehtynä (kuva 9). Hakkuutähdehakteella ei eroa juuri havaittu, kun vertailukohtana oli TT 910 R -hakkuri. Tulokset noudattelivat Uusvaaran ja Verkasalon (1987) toteamia yleisiä suuntaviivoja, joiden mukaan rumpuhakkureilla tehty hake on löyhempää kuin laikkahakkureilla tehty ja kuormatilan päältä puhaltavilla hakkureilla tehty löyhempää kuin kuormatilan takaa puhaltavilla tehty.

Hakkeen irtotilavuusyksikön tuoremassa ilmaisee kuljetettavan ja käsiteltävän ja kuivamassa poltettavan tai jalostettavan biomassan määrän. Tuoremassa riippuu hakkeen kuiva-tuoretiheydestä (kg/m^3), kosteudesta ja tiiviyydestä ($\text{m}^3/\text{i-m}^3$) ja kuivamassa kuiva-tuoretiheydestä ja tiiviyydestä (Uusvaara ja Verkasalo 1987). Taulukosta 9 ilmenevät hakkeen kosteudet sekä toimituspaikalla mitatut tuore- ja kuivamassat. Tuoremassa oli korkeimmillaan sekalehtikuitupuu- ja hakkuutähdehakteella, 348 ja 335 $\text{kg}/\text{i-m}^3$, ja alhai-

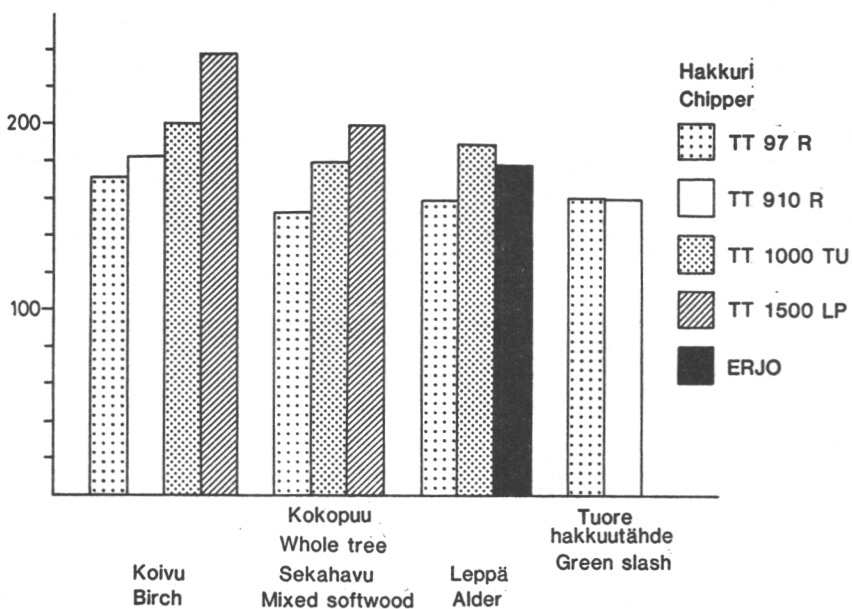
Taulukko 9. Hakkeen kosteus sekä tuore- ja kuivamassa toimituspaikalla.
Table 9. Moisture content and green and dry weight of the chips at the delivery point.

Hakepuu Chipwood	Kuivuusaste Degree of dryness	Kosteus, % Moisture content, %	Tuoremassa, $\text{kg}/\text{i-m}^3$ Green weight, kg/m^3 loose	Kuivamassa, $\text{kg}/\text{i-m}^3$ Dry weight, kg/m^3 loose
Koivukokopuu Birch whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	34,7	261,7	171,0
Sekahavu- kokopuu	Kesävarastoitu	39,5	252,7	152,3
Mixed softwood whole tree	Stored during summer			
Leppäkokopuu Alder whole tree	Kesävarastoitu Stored during summer	48,1	306,0	158,8
Pajukokopuu Willow whole tree	Tuore Green	50,7	285,1	140,6
Sekalehti- kuitupuu	Tuore	51,7	348,1	168,1
Mixed hardwood pulpwood	Green			
Hakkuutähde Slash	Tuore Green	52,1	335,2	160,2

simmillaan sekahavukokopuu- ja koivukokopuuhakkeella, 253 ja 262 kg/i-m³. Kuivamassa oli korkeimmillaan koivukokopuu- ja sekalehtikuitupuuhakkeella, 171 ja 168 kg/i-m³ ja alhaisimmillaan pajukokopuuhakkeella, 141 kg/i-m³.

Kokopuuhakkeen kuivamassa oli 6 - 10 % alhaisempi kuin TT 910 R ja Erjo -hakkurilla, 6 - 15 % alhaisempi kuin TT 1000 TU -hakkurilla ja peräti 22 - 26 % alhaisempi kuin TT 1500 LP -hakkurilla tehtynä (kuva 10). Hakuutähdehakkeella ei eroa juuri havaittu, kun vertailukohtana oli TT 910 R -hakkuri. Tulokset noudattelivat Uusvaaran ja Verkasalon (1987) toteamia yleisiä suuntaviivoja.

Kuivamassa, kg/i-m³
Dry weight, kg/m³ loose



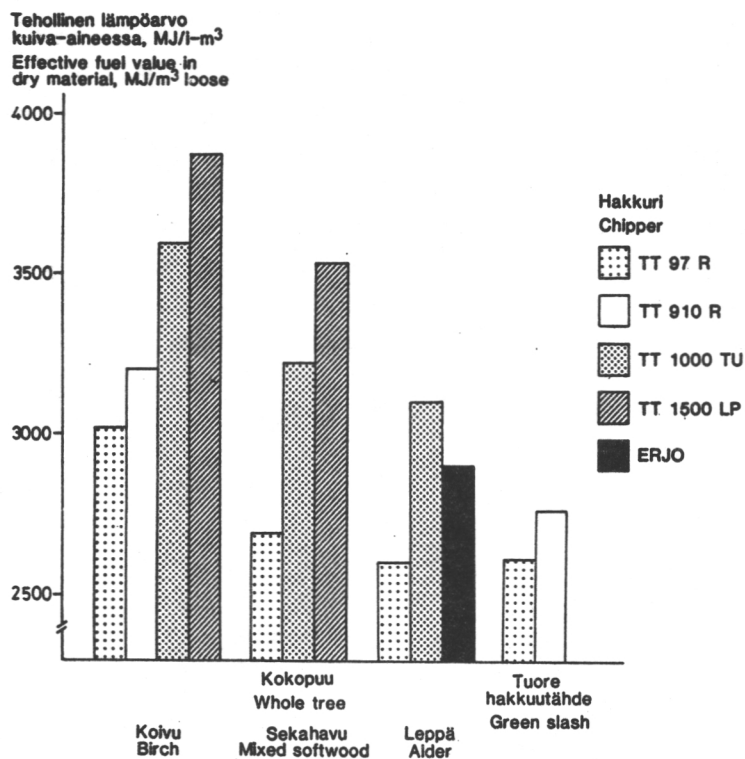
Kuva 10. Hakkeen kuivamassa, hakkurien välinen vertailu (Uusvaara ja Verkasalo 1987).

Fig. 10. Dry weight of the chips, comparison between chippers (Uusvaara and Verkasalo 1987).

Hakkeen irtotilavuusyksikön tehollinen lämpöarvo riippuu hakkeen biomassan koostumuksesta, kuiva-tuoretiheydestä, tiiviyydestä ja kosteudesta (Hakkila 1984). Seuraavasta asetelmasta ilmenevät laskennallisesti määritetyt teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa. Laskelmat on tehty edellyttäen, että eri hakelajien kosteudet ovat taulukon 9 mukaiset:

Hakepuu	Kuivuusaste	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/i-m ³
Koivukokopuu	Kesävarastoitu	3020
Sekahavukokopuu	- " -	2690
Leppäkokopuu	- " -	2600
Hakkuutähde	Tuore	2610

Kokopuuhakkeen lämpöarvo oli 6 - 10 % alhaisempi kuin TT 910 R ja Erjo -hakkurilla, 16 % alhaisempi kuin TT 1000 TU -hakkurilla ja 22 - 24 % alhaisempi kuin TT 1500 LP -hakkurilla tehtynä (kuva 11). Hakkuutähdehakkeen lämpöarvo oli 5 % alhaisempi kuin TT 910 R -hakkurilla tehtynä. Tulokset noudattelivat samoja Uusvaaran ja Verkasalon (1987) toteamia suuntaviivoja kuin kuivamassa- ja tiiviystulokset. Hakkeen lämpöarvoerot olivat hakkurien välillä suhteellisesti suuremmat kuin kuivamassaerot, mikä johtui hake-erien sivupuulajisuuden vaihtelusta (0 - 20 %).



Kuva 11. Hakkeen tehollinen lämpöarvo, hakkurien välinen vertailu (Uusvaara ja Verkasalo 1987).

Fig. 11. Effective fuel value of the chips, comparison between chippers (Uusvaara and Verkasalo).

6. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

TT 97 R -hakkuri osoittautui teknisesti erittäin toimivaksi välivarasto- ja terminaalihaketukseen ja lähinnä polttohakkeen tekoon soveltuvaksi hakkuriksi. Etuna erityisesti laikkahakkureihin verrattuna on mahdollisuus hakettaa tehokkaasti myös hakkuutähteitä. Haketustyön tuottavuuden

puolesta TT 97 R sijoittuu selvästi lämpölaitosten polttohakkeen hankinnan valtamerkin, TT 1000 TU:n yläpuolelle ja jonkin verran metsäteollisuuden kokopuuhakkeen hankinnan valtamerkin, TT 1500 LP:n alapuolelle. Hakkurin syöttölaitte on riittävän tehokas ja hakkuriosa (rumpu) riittävän järeä täysien kokopuu- ja hakkuutähdekourallisten haketukseseen. Oleellista hakkurin kapasiteetin hyväksikäytössä onkin tehokas kuormaus. Tutkimusoloissa hakkurin tyhjänäpyörimisajan osuus haketusajasta oli korkea, mutta osuutta voitaisiin periaatteessa pienentää tehostamalla kuormausta. Ei ole kuitenkaan varmaa, onko tämä käytännössä mahdollista.

Tutkimuksessa haketuksen ja hakkeen kuljetuksen koneketju käsitti hakkurin ja yhden nuppiauton, jolloin hakkurin työajasta kului keskeytyksiin keskimäärin 53 %. Kaikista keskeytyksistä n. 3/4 oli hakeauton odotusta. Normaalisissa välivarastohaketuksessa, jossa hakkeen kuljetus hoidettaisiin kahdella nuppiautolla tai yhdellä vaihtolavoilla varustetulla täysperävaunuyhdistelmällä, keskeytyksen osuus pystytettäneen pudottamaan ehkä 35 %:iin (ks. Kuitto 1987). Jos keskimääräiseksi haketustyön tuottavuudeksi tuotantoajassa oletetaan $20 \text{ m}^3/\text{h}$, olisi hakkurin kapasiteetti yhdessä työvuorossa toimittaessa $24\,000$ ja $45\,000 \text{ m}^3/\text{a}$ 8 ja 11 kuukauden vuosityöllisyydellä sekä 6,3 ja 11,1 h työpäivän pituudella laskettuna. Korkea hankintahinta - tutkitulla perusmalliyksiköllä n. 1 milj. mk - edellyttää mahdollisimman täyttä työllisyyttä. Lämpölaitosten hakkeen tarve oli v. 1982 keskimäärin $1310 \text{ m}^3/\text{MW}/\text{a}$, joten em. vuosityöllisyyssvaihtoehdoilla laskettuna yhdellä TT 97 R -hakkurilla voitaisiin huolehtia yhteisteholtaan 18 ja 34 MW:n lämpölaitosten haketoimituksista.

Polttohakkeena TT 97 R -hakkurilla tehty hake on hyvää, koska siinä ei ole käytännöllisesti katsoen lainkaan ylisuuria tikkuja ja oksanpätkiä. Sulfaattisellun raaka-aineksi hake on liian paksua, mikä on yleinen rumpuhakkurei-

den heikkous laikkahakkureihin verrattuna. Tutkimatta jäi, olisiko hakkeen pituuden säädöllä lyhyemmäksi voitu vähentää ratkaisevasti ylipaksun jakeen osuutta. Tämä olisi tosin tapahtunut haketustyön tuottavuuden kustannuksella, jollainen tilanne on yleensä laikkahakkureilla (esim. Kalaja ja Rantamaula 1982). Lastulevyteollisuuden raaka-aineen laatuvaatimukset hake tyydyttäneet, mutta hieman huonommin kuin laikkahakkureilla tehty hake. Lastulevyteollisuuden haketta tehtäessä on hakkeen pituus säädettävä mahdollisimman suureksi, koska hakkeelta edellytetään mahdollisimman suurta palakokoa lastutuksen onnistumiseksi.

Hakkeen puhallusvoima on TT 97 R -hakkurissa suhteellisen heikko. Haketusteknisesti tämä ei ole ongelmallista, sillä haketorvi ei sopivan muodon ja suuren läpimitan ansiosta tukkeudu. Heikko puhallusvoima johtaa kuitenkin hakkeen muita hakkureita alhaisempaan irtotilavuusyksikön massaan, tiiviyyteen ja teholliseen lämpöarvoon. Erot ovat niin suuria, että ne olisi otettava huomioon hakkeen irtotilavuusmittauksessa. Tämän sekä Uusvaaran ja Verkasalon (1987) tutkimuksen tulosten perusteella voidaan TT 97 R -hakkurilla tehdyille polttohakkeelle (hakkuutähdehake tuoreesta puusta tehtyä, muut hakelajit kesävarastoidusta tai ylivuotisesta puusta tehtyä) esittää seuraavat tiiviysluvat toimituspaikalta tapahtuvaa irtotilavuusmittausta varten:

	Kesä	Talvi
	Tiiviysluku, m ³ /irto-m ³	
Mäntykokopuuhake	0,42	0,43
Kuusikokopuuhake	0,38	0,39
Koivukokopuuhake	0,38	0,39
Leppäkokopuuhake	0,44	0,45
Koivukuitupuuhake	0,40	0,41
Leppäkuitupuuhake	0,46	0,47
Kuusivalentainen hakkuutähdehake	0,36	0,37

KIRJALLISUUS - REFERENCES

- Energiakatsaus 1. 1987. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. 51 s. Helsinki.
- Eskelinen, A., Häggblom, R. & Peltonen, J. 1984. Osapuuna- ja metsähakkeenahankinnan kustannuskilpailukyky. Yritysmallitarkastelu. Summary: A model for optimising the use of wood raw material. Metsätehon tiedotus 389. 31 s.
- Hakkila, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(5). 98 s.
- 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia Forestalia 342. 38 s.
- 1984. Metsähakkeen hankinta lämpölaitosten polttoaineeksi. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto ja SITRA. Tutkimusraportti 33. 121 s.
- Hovila, P. 1981. TT 1000 TU ja TS kokopuuhaakurit. Summary: TT 1000 TU and TS whole tree chippers. Folia Forestalia 480. 20 s.
- Juvonen, R., Kotilahti, T., Lahti, J. & Liski, A. 1987. Sahanhakkeen koeseulontamenetelmien vertailu. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto, puun mekaanisen teknologian laboratorio. Tiedonanto 39. 40 s. Otaniemi.
- Kalaja, H. 1984. Varastointi- ja siirtolaitteiden toimintahäiriöt metsähaketta käyttävissä lämpölaitoksissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 166. 24 s.
- & Rantamäula, J. 1982. Junkkari laikkahaakurit. Summary: Junkkari disc chippers. Folia Forestalia 513. 19 s.
- Kuitto, P.-J. 1979. Metsätyöntutkimus. Tutkimustekninen tarilu. Helsingin yliopisto, Metsäteknologian laitos. Moniste. 26 s.
- 1986. Väliavarastollahaketus ja metsähakkeen autokuljetus. Metsätehon moniste 12.8. 25 s.

- 1987. TT 1750 LP -varastohakkuri. Metsätehon katsaus 8. 4 s.
- & Nissi, I. 1984. Hakkuutähdehakkurit ja murskaimet: Algol HEM 300-1000 WEA, Lokomo MS 9, TT 910 R ja Morgårdshammar SK 2800. Metsätehon katsaus 8. 6 s.
- Kärkkäinen, M. 1977. Puu. Sen rakenne ja ominaisuudet. 442 s. Helsinki.
- Maatalous- ja metsäkoneiden myyntitilastot vuosilta 1976-1986. 1986. Vakola, valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos.
- Melkko, M. 1975. Hakkuutähteiden koostumus moottorisaha- ja monitoimikonetyömailla. Summary: Composition of logging residues at powersaw and processor work sites. Metsätehon katsaus 5. 4 s.
- Mäkelä, M. 1977. Seulontatuloksia Algol-monikäyttöhakkurin hakkeesta. Summary: Screening results on the chips made by Algol-multipurpose chipper. Silva Fennica 11(2): 97-109.
- Nissi, I. 1984. Bruks 1001 CT -hakkuri. Metsätehon katsaus 17. 3 s.
- Olofsson, L. 1975. Värmevärderna för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Institutionen för skogsteknik. Skogshögskolan. Rapporter och Uppsatser 90. 47 s.
- Uusvaara, O. & Verkasalo, E. 1987. Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Summary: Solid content and other technical properties of forest chips. Folia Forestalia 683. 53 s.

Total of 20 references

SUMMARY

Forest chips are harvested in Finland today for raw material for the sulphate pulp and, to a lesser extent, the particle board industries and for fuel. The amounts of chips harvested for industrial use have of late slightly increased, to a total of 190 000 m³ per year. The use of the chips for fuel was 516 000 m³ in 1982. However, the demand for fuel chips has varied greatly according to the consumer price of fuel oil. Because of this fact, and the underemployment of the present chipper park, the domestic chipper markets have been rather small.

The TT 97 R drum chipper was introduced in the winter of 1985/86 by YIT-yhtymä Oy Hämeenlinna works. Two versions of the chipper were studied, the standard model on a trailer with a boggie and its own driving engine, and the other version mounted on and receiving its power from a truck. The former chipped whole trees and pulpwood at the chip terminal of Vapo Oy of in Rovaniemi, and the latter mostly slash at landing sites in Hämeenlinna. The chipping was done directly into trucks in both places. In Rovaniemi, the time consumption and productivity of chipping was studied using 20 chip loads (293 m³), weight and solid content of chips using 20 chip loads (330 m³) and particle size distribution using 43 chip samples (10 to 15 dm³ each). In Hämeenlinna, time consumption of chipping and weight and solid content of chips were studied using 20 chip loads (241 m³), and particle size distribution using 20 chip samples.

Production time consumption in terminal chipping was 224 to 240 cmin/m³ under normal and 358 cmin/m³ under poor chipping conditions (whole tree of mixed softwoods with a lot of sand) (Table 2). The chipping phase accounted for 88 to 93 % of the total production time. Idling time was 24 to 49 % of the chipping time.

Delays, consisting mostly of waiting time for truck, comprised 53 % of the total work time. Time consumption in the chipping phase was 192 to 292 cm^3/min under normal and 255 to 547 cm^3/min under poor chipping conditions (whole trees of small-sized willows and mixed softwoods with a lot of sand) (Fig. 5). Chipping with the TT 97 R was 80 to 190 % faster than with the TT 1000 TU and TS chippers, but still 25 % slower than with the TT 1500 LP chipper. The TT 1000 TU and TT 1500 LP are the most important disc chippers manufactured by YIT-yhtymä Oy. The change in the DBH of birch whole trees by 2 cm resulted in a change of 15 % in the time consumption of chipping, when the comparison was made with the DBH class 7 cm. 78 to 91 % of the chipper operator's time was spent on handling the loader during the chipping phase (Table 6). Only 42 to 64 % could be spent on the actual loading (grappling and moving the grapple when empty and loaded).

Productivity of chipping was 16.8 to 26.8 m^3/h during production time (Table 5). It was 140 to 200 % better than during chipping with the TT 1000 TU chipper, but still 25 to 48 % worse than with the TT 1500 LP chipper. If the share of delays can be reduced to 35 % of work time, the productivity of chipping is approx. 20 m^3/h of operating time. Thus the annual chip production capacity of one TT 97 R chipper would be 24 000 m^3 , if the chipper could be employed 8 months a year and 6.3 hours a day, and 45 000 m^3 , if the chipper could be employed 11 months a year and 11.1 hours a day. These amounts correspond to the annual chip consumption of heating plants, whose total capacity is 18 and 34 MW.

The chip quality was very good for combustion purposes, as there were no sticks and branches exceeding 30 cm in length, which cause problems in heating plants. The share of fractions shorter than 6 mm was smaller and the share of those longer than 32 mm was not greater than in chips made with

the TT 1000 TU and TS chippers (with the exception of birch whole tree chips) (Table 7). However, whole tree chips were clearly longer and pulpwood chips somewhat shorter compared with those made with the TT 1500 LP chipper. Pulpwood yielded the best chips and slash the worst.

Chip quality was not good enough for the sulphate pulp industry, with the exception of birch pulpwood chips, as the proportion of accepted fractions (Wennberg screening) was only 53 to 60 % (target value 65 %) (Fig. 6). The main reason was too great a proportion of thick chips. Pine whole tree chips became a bit shorter and birch whole tree chips somewhat longer as the DBH of chipwood became greater (Fig. 7). At the same time, the proportional share of accepted fractions (Wennberg screening) became greater. The chips were clearly shorter, and the proportion of accepted fractions, surprisingly, a bit greater when chipping with blunt knives than when the knives were sharp (Fig. 8).

The dry weight and effective fuel value of the chips per loose volume unit were 141 to 171 kg/m³ (Table 8) and 2600 to 3020 MJ/m³. These values were considerably lower than those of chips made by other chippers used nowadays. That was due to the low solid content of the chips, 0.25 to 0.44 (Table 8, Fig. 7). The difference between chips made with the TT 97 R and with other chippers is so great that the fact must be taken into account when scaling chips according to loose volume.

ISBN 951-40-0828-6
ISSN 0358-4283