

FOLIA FORESTALIA 498

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1981

JARI RANTAMAULA

HAKKUUTÄHTEIDEN HAKETUS KEVYELLÄ
KALUSTOLLA

CHIPPING LOGGING RESIDUES WITH
LIGHT-WEIGHT EQUIPMENT



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 498

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1981

Jari Rantamäula

HAKKUUTÄHTEIDEN HAKETUS KEVYELLÄ KALUSTOLLA

Chipping logging residues with light-weight equipment

ODC 363.7
ISBN 951-40-0549-X
ISSN 0015-5543

RANTAMAULA, J. 1981. Hakkuutähteiden haketus kevyellä kalustolla. Summary: Chipping logging residues with light-weight equipment. Folia For. 498: 1—24.

Tutkimus selvittää kevyen kaluston soveltuvuutta hakkuutähteiden haketuksen. Metsiimme jää nykyisillä hakkuumäärillä vuosittain noin 20 milj. m³ hakkuutähteitä, jotka metsäteollisuuden tämän hetkessä markkinatilanteessa voidaan lukea potentiaaliseen energiapuureserviin. Korjuukelpoiseksi hakkuutähdemääräksi arvioidaan noin 3 milj. m³ vuodessa, mikä vastaa lämpöarvoltaan 0,6 milj. ekvivalenttista öljytonnia.

Tutkitun Hakki palstahakkurin prototyypin tuotantoaikatuoitos hakkuutähteiden haketuksessa oli 1,0 m³/h ja pienikokoisen kokopuun haketuksessa 2,3 m³/h, kun hakkeen kuljetusmatka oli 500 m. Suurin syy tuotoksen alhaisuuteen on laikkahakkurin pieni syöttöaukko, joka vaikeuttaa hakkuutähteiden syöttöä. Hakkuutähdehaketuksen yksikkökustannukseksi saatiin 125,50...138,80 mk/m³ ja kokopuuhaketuksen yksikkökustannukseksi 25,10...27,75 mk/m³.

HS-500 HD välivarastohakkurin prototyypin tuotantoaikatuoitos hakkuutähteiden haketuksessa oli 2,7 m³/h ja karsitun rangan haketuksessa 4,4 m³/h. Hakkuutähdehaketuksen yksikkökustannukseksi saatiin 43,00...46,85 mk/m³ ja karsitun rangan haketuksen yksikkökustannukseksi 21,50...23,40 mk/m³. Suurehkon syöttöaukkonsa ja tehokkaan syöttölaitteensa ansiosta HS-500 HD hakkuri soveltuu hakkuutähdehaketukseen varsin hyvin.

Study examines the suitability of light-weight equipment for the chipping of logging residues. At the present rate of logging approx. 20 million m³ of logging residues are left yearly in our forests. In the current market situation of the forest industry they can be included in the potential energy wood reserve. The amount of harvestable logging residues is estimated to be about 3 million m³ per annum, corresponding in fuel value to 0,6 million tons oil equivalent.

The productive time output of the prototype of the Hakki terrain chipper studied in the chipping of logging residues was 1,0 m³/h and in the chipping of small-sized whole-trees 2,3 m³/h when the chip haulage distance was 500 m. The main reason for the low output is the small infeed aperture of the disc chipper which is an impediment to feeding in logging residues. The unit cost of logging residue chipping came to 125,50...138,80 marks/m³ and that of whole-tree chipping to 25,10...27,75 marks/m³.

The productive time output of the prototype of the HS-500 HD landing chipper in the chipping of logging residues was 2,7 m³/h and in the chipping of delimited stems 4,4 m³/h. The unit cost of logging residue chipping came to 43,00...46,85 marks/m³ and that of the chipping of delimited stems to 21,50...23,40 marks/m³. Its quite large infeed aperture and effective infeed device make the HS-500 HD chipper fairly suitable for the chipping of logging residues.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. KORJUUKELPOISEN HAKKUUTÄHTEEN MÄÄRÄ JA NYKYINEN KORJUUTEKNIikka	5
3. HAKKUUTÄHDE POLTTOAINEENA	6
4. PUUN ARVO ENERGIANLÄHTEENÄ	8
5. TUTKITTUJEN PROTOTYYPIHAKKUREIDEN TEKNISET TIEDOT	10
51. Hakki palstahakkuri	10
52. HS-500 HD hakkuutähdehakkuri	11
6. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	11
7. TULOKSET	12
71. Hakki palstahakkurin ajanmenekki ja tuotos	12
72. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin ajanmenekki ja tuotos	15
73. Hakkeen palakokojakauma	17
74. Hakkeen irtotilavuusyksikön massa ja hakkeen tiiviys	18
8. HAKETUSTYÖN KUSTANNUKSET	18
81. Laskennan perusteet	18
82. Hakki palstahakkurin, Zetor 8045 Crystal traktorin ja Jyty 2700 kuormaimen muodostama haketusyksikkö	19
83. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin, Zetor 8045 Crystal traktorin ja RKP 2600 kuormaimen muodostama haketusyksikkö	19
9. PÄÄTELMÄ	20
LÄHDELUETTELO	20
SUMMARY	21
LIITTEET	22

1. JOHDANTO

Hakkuutähteillä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa puutavaraa korjattaessa metsään jäävää runkopuuta ja oksia. Siihen ei siis lueta kantoja ja juuria.

Hakkuutähteellä ei toistaiseksi ole taloudellista käyttöä, vaan se jätetään metsään lahoamaan. Huoli metsäteollisuuden puun saannista ja energian hinnan nopea kohoaminen ovat kuitenkin viime vuosina synnyttäneet kiinnostusta myös hakkuutähteen hyväksikäyttöön. Nykyisessä markkinatilanteessa raaka-aineominaisuuksiltaan heikon ja hankintakustannuksiltaan korkean hakkuutähteen teollinen jalostus on hyvin vähäistä, joten energian tuottaminen on ainakin lähitulevaisuudessa sen tärkein käyttömuoto.

Hakkuutähteet pystyttäneet menetelmiä kehittämällä korjaamaan edullisesti, eikä niitten laajamittainenkaan polttoainekäyttö uhkaa teollisuuden puunsaantia. Hakkuutähdehän syntyy tavallaan kustannuksitta runkopuun korjuun yhteydessä ja sen kantohintakin, mikäli sitä tarvitsee lainkaan maksaa, on alhainen. Metsänviljelytöiden helpottuminen, metsähygienian paraneminen ja maisemanhoidolliset seikat saattavat ainakin toiminnan alkuvaiheessa olla riittävä korvaus metsänomistajalle tähteidän luovuttamisesta.

Vertailun vuoksi esitetään taulukossa 1 metsäteollisuuden v. 1979 hankkiman kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen keskimääräisen tehdashinnan muodostuminen Eeronheimon (1981) mukaan, kun kaukokuljetusmatka on 80 km. Huomattakoon, että hakkuutähdehakkeen osalta kokemukset rajoittuvat vain yhteen prototyyppihakkurin käyttöön perustuvaan korjuuketjuun, kun taas kokopuuhakkeen osalta kysymyksessä on suuri keskimääräisaineisto. Hakkuutähdekerättiin edullisista korjuuoloista yhtiön omista metsistä monitoimikonetyömailta. Tehdashinnat on laskettu ilman yleiskustannuksia olettaen keskimääräiseksi kaukokuljetusmatkaksi 80 km.

Hakkuutähteen haketuksesta on toistaiseksi hyvin vähän kokemuksia. Työn tuotos jää kokopuuhaketuksen tuotosta huomatta-

vasti alhaisemmaksi hakkuutähteen käsitelyhankaluuden sekä oksien ja latvusten pienen koon vuoksi. Toisaalta, koska kantohinnan ja hakkuun osuus hakkuutähdehakkeen hankintakustannuksista on hyvin pieni, voi hakkuutähteen talteenotto polttoaineeksi olla kannattavaa, vaikka työn tuotos varsinaisessa haketusvaiheessa jäisikin suhteellisen alhaiseksi.

Edellä mainittu prototyyppihakkuriin perustuva korjuuketju edustaa raskasta metsäteollisuuden käyttöön soveltuvaa kalustoa. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kevyellä kalustolla tapahtuvan hakkuutähteen haketuksen tuotosta ja kannattavuutta korjattaessa haketta polttoaineeksi. Samalla selvitetään hakkuutähdehakkureiden soveltuvuutta kokopuun haketukseen, mikä on

Taulukko 1. Metsäteollisuuden v. 1979 hankkiman kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen keskimääräisen tehdashinnan muodostuminen (Eeronheimo 1981).
Table 1. Formation of the average mill price of whole-tree and logging residue chips cut by the forest industry in 1979 (Eeronheimo 1981).

Kustannuslaji <i>Type of cost</i>	Kustannukset, mk/m ³ <i>Costs, marks/m³*</i>	
	Kokopuuhake <i>Whole-tree chips</i>	Hakkuutähdehake <i>Logging residue chips</i>
Kantohinta <i>Stumpage price</i>	18	..
Hakkuu <i>Felling</i>	23	..
Lähikuljetus <i>Forest haulage</i>	21	20
Haketus <i>Chipping</i>	16	20
Kaukokuljetus (80 km) <i>Long-distance transport (80 km)</i>	23	23
Tehdashinta ilm. yleiskust. <i>Mill price without overheads</i>	101	63
Yleiskustannukset <i>Overheads</i>	12	..
Tehdashinta yleiskustannuksineen <i>Mill price incl. overheads</i>	113	..

*m³ tarkoittaa tässä tutkimuksessa kiintokuutiometriä
m³ means in this study solid cubic meter

tärkeää hakkureiden työllisyyden parantamiseksi ja siirtokustannusten kurissa pitämiseksi. Työllä pyritään jouduttamaan hakkuutähteen polttoainekäyttöön tähtäävää kone- ja menetelmäkehittelyä.

Tämä tutkimus kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 1978 käynnistämään puun energiakäyttöä käsittelevään PERA-projektiin. Tutkimuksen kohteena on kaksi hakkuutähteen hakettamiseen rakennettua maataloustraktorikäyttöistä prototyypilaitetta, joitten kehittelyn PERA-projekti on osallistunut.

2. KORJUUKELPOISEN HAKKUUTÄHTEEN MÄÄRÄ JA NYKYINEN KORJUUTEKNIikka

Oksien ja latvuksen osuus puun koko biomassasta on puun koosta ja puulajista riippuen 20...100 %. Päätehakuussa korjattavaan kuorelliseen runkopuuhun verrattuna oksien ja latvusten osuus on männyllä 20...30 % ja kuusella 40...50 % (vrt. Hakmila 1971).

Oksien ja latvusten lisäksi hakkuutähteen luetaan myös hakkuualalle jäävät ainespuupölkkyt, tyveykset ja raivauspuut. Melkon (1975) mukaan oksien osuus hakkuualalle jäävästä hakkuutähteestä on 80...90 % ja runkopuun 10...20 %. Latvusten ja raivauspuun osuus hakkuutähteen sisältämän runkopuun kokonaismäärästä on saman tutkimuksen mukaan monitoimikoneleimikoissa 90...95 % ja moottorisahaleimikoissa noin 70 %. Hakkuualalle jäävästä ainespuusta pääosa on kiutupuupölkkyjä.

Vuoden 1980 hakkuusuunnite, 58,5 milj. m³ runkopuuta, tuottaa metsiimme markkinakelvotonta hakkuutähdettä viheraineen mukaan luettuna 22 milj. m³. Korjuukelpoisen hakkuutähteen määrä on kuitenkin useiden biologisten ja teknisten tekijöiden vuoksi vain noin 3 milj. m³ vuodessa, mikä vastaa lämpöarvoltaan 0,6 milj. ekvivalentista öljytonnia. Korjuukelpoisen hakkuutähteen määrää supistavia tekijöitä ovat mm. seuraavat (Hakkila 1978).

- Talteenotto rajoittuu avohakkuualoille, ja ravinnetappioiden välttämiseksi sen tulisi tapahtua viheraineetta.
- Korjuukustannusten kurissa pitämiseksi leimikon on täytettävä tietty vähimmäiskoko, metsäteollisuuden korjuutoiminnassa ehkä 300 m³ runkopuuta.

Aineiston keruun mahdollisti hakkureiden valmistajien S.A. Tervo Oy Karjalan Rautarakenteen ja H-Steel Oy:n edustajien sekä hakkurin käyttäjien myönteinen suhtautuminen tutkimukseen. Aineiston keruussa avustivat metsätiet. yo. Jyri Schildt ja tutkimusapulainen Matti Rytkönen.

Konekirjoituksesta huolehti rouva Aune Rytkönen. Kuvat piirsi rouva Leena Muronranta.

Professori Pentti Hakkila, tohtori Pertti Harstela ja metsäteknikko Hannu Kalaja ovat ohjanneet työtäni ja lukeneet käsikirjoituksen.

Kaikille parhaat kiitokseni!

- Osa avohakkuualoista jää korjuun ulkopuolelle vaikeiden maastotekijöiden tai kasvupaikan riittämättömien ravinnevarojen vuoksi.
- Korjuukohteiksi hyväksytyiltä aloiltakin vain osa viheraineettomasta hakkuutähteestä saadaan talteen.

Hakkuutähte on korjattava hakkeena tai murskeena, sillä kokonaisten oksien ja latvusten kaukokuljetus on suuren tilantarpeen vuoksi epätaloudellista. Ainoastaan silloin kun hakkuuala sijaitsee käyttöpaikan läheisyydessä, voi tähteen kaukokuljetus haketamattomana tulla kysymykseen.

Hakkuutähdetaketta on tähän mennessä valmistettu Suomessa vain järeillä välivarastohakkureilla lähinnä kokeilumielessä. Ruotsissa hakkuutähteen käsittelyyn on kehitetty myös murskausperiaatteella toimivia järeitä koneita, joita korkeiden pääomakustannusten vuoksi voidaan käyttää kuitenkin vain suurilla työmailla (vrt. Kyttälä ja Larsson 1981).

Välivarastohaketus edellyttää hakkuutähteen maastokuljetusta, jossa työn tuotos jää suhteellisen alhaiseksi kuormatilan vajaatehoisen käytön vuoksi. Hakkuutähteen palstahaketuksessa erillinen maastokuljetus jää kokonaan pois.

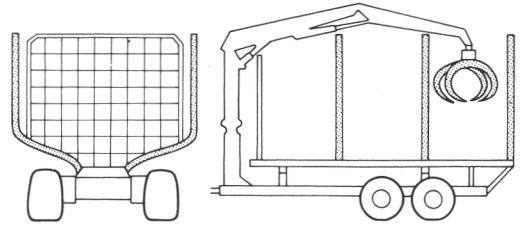
Korjattaessa hakkuutähteitä monitoimikonetyömailta ei tähteitä tarvitse erikseen kasata, sillä ne ovat riittävän suurissa kasoissa jo monitoimikoneen jäljiltä. Pääosa puutavarasta valmistetaan kuitenkin moottorisahalla, jolloin levälleen jäävät hakkuutähteet on ennen maastokuljetusta tai palstahaketusta kasattava esimerkiksi metsätraktorin pitkäulotteiseen puomiin asennetulla

hakuutähdeharavalla.

Kesällä 1981 oli maassamme käytössä noin 170 monitoimikonetta, joiden osuus metsäteollisuuden ja metsähallituksen korjaamasta puumäärästä oli 15 %. Toistaiseksi monitoimikoneita käytetään lähes yksinomaan avohakkuuleimikoissa. Koska avohakkuuden osuus koko korjuumäärästä on noin puolet, on monitoimikoneiden osuus avohakkuuden korjuumäärästä noin 30 %. Korjuukustannusten perusteella olisi tällä hetkellä kannattavaa koneellistaa noin 40 % vuotuisesta hakkuumäärästä. Monitoimikoneiden käyttö onkin voimakkaasti lisääntymässä, niin että vuonna 1985 niiden osuuden korjuumäärästä arvioidaan olevan 30...40 % (Vesikallio, H., Metsäteho, suull. laus. 1981).

Monitoimikoneet poikkeavat toisistaan hakuutähteiden talteenoton kannalta. Esikarsintaa suorittavat monitoimikoneet (esim. Pika 75) jättävät osan oksista levälleen hakkuualalle, mikä vaikeuttaa niiden talteenottoa. Ajouran suunnassa puuta käsittelevät koneet (esim. Lokomo 961 S) ajavat hakuutähteiden päältä, jolloin ne katkeilevat ja painuvat maata vasten. Hakuutähteitten talteenoton kannalta edullisimpia ovat koneet, jotka käsittelevät puuta poikittain ajouraan nähden (esim. Volvo BM Valmet 902 H ja Ösa 706/250).

Hakuutähteiden metsäkuljetuksen tuotoksen kohottaminen edellyttää metsätraktorin kuormatilan suurentamista. Helpoimmin kuormatila saadaan suurennettua käyttämällä voimakkaasti ulospäin kaareutuvia sivupylväitä. Hakuutähteiden kuormausta voidaan nopeuttaa käyttämällä leveää puutavarakouraa, josta on poistettu kouran "piikkejä" yhdistävät välilevyt (Harstela ja Takalo 1974, Mellström ja Thörlind 1981)



Kuva 1. Hakuutähteiden metsäkuljetukseen varustettu kuormatraktori.
Figure 1. A forwarder equipped for forest haulage of logging residues.

(ks. kuva 1). Hakuutähteitä kuormattaessa voidaan kuormaa tiivistää kuormaimen avulla. Ruotsissa, missä hakuutähteiden hyväksikäyttö on ehkä hieman pidemmällä kuin Suomessa, on em. parannusten ansiosta päästy 9...14 kiintokuutiometrin kuorman kokoon hakuutähteiden metsäkuljetuksessa (Mellström ja Thörlind 1981).

Melkon (1976) tutkimuksen mukaan on hakuutähteiden metsäkuljetus edullisinta suorittaa erikoissivupylväillä varustetulla keskikokoisella kuormatraktorilla. Hakuutähdetähtekasan koon ja ajomatkan mukaan on tällaisen metsätraktorin käyttötuntituotos 3,6...10,3 m³. Mellströmin ja Thörlindin mukaan päästään lyhyellä 130 m:n ajomatkalla edullisissa olosuhteissa jopa 13,2 m³:n käyttötuntituotokseen. Haketuksen onnistumisen vuoksi on hakuutähteet ajettava tasaiselle ja kantavalle paikalle mahdollisimman säännölliseen pinoon.

Hakkuuala kannattaa raivata ennen hakuutähteiden maastokuljetusta tai palstahaketusta, sillä tällöin myös raivauspuut saadaan talteen. Hakuutähteiden talteenoton tulisi sijoittua uudistusalan raivauksen ja maanmuokkauksen väliin.

3. HAKKUUTÄHDE POLTTOAINEENA

Puun eri osien lämpöarvot poikkeavat toisistaan mm. erilaisen kemiallisen koostumuksen vuoksi (ks. taulukko 2). Hakkuutähteeseen kuuluvien puun osien lämpöarvot ovat runkopuuhun verrattuna korkeammat. Oksien korkea lämpöarvo johtuu kuoren runsaudesta sekä korkeasta ligniini- ja uuteainepitoisuudesta (Handbok i Skogsteknologi 1922).

Olofssonin (1975) mukaan neulasten lämpöarvot ovat selvästi suuremmat kuin muiden puunosien. Ainoastaan koivun tuohella on vielä korkeampi lämpöarvo. Neulasten korkean lämpöarvon aiheuttaa suuri hartsipitoisuus (Lehtonen 1977). Hakkuutähteen lämpöarvo ilmenee myös taulukosta 3, joka on laskettu Olofssonin (1975) tutkimuksen pohjalta Etelä-Suomen keski-

Taulukko 2. Päätehakkuuleimikon puuston biomassan eri osien teholliset lämpöarvot absoluuttisen kuivassa puussa (Olofsson 1975).

Table 2. Effective fuel values in absolutely dry wood of the different parts of the growing stock of a final-felling stand (Olofsson 1975).

	Lämpöarvo Fuel value, MJ/kg		
	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch
Runkopuu Stemwood	19,3	18,8	18,8
Rungon kuori Stem bark	19,8	18,7	20,5
Oksat viheraineetta Branches without foliage	20,5	19,8	19,8
Neulaset Needles	21,1	20,0	..

määräisiä olosuhteita vastaavaksi (Hakkila 1978).

Kosteus vaikuttaa puun teholliseen lämpöarvoon, sillä veden höyrystäminen sitoo osan puun energiasisällöstä. Kuva 2 osoittaa tuorepainosta lasketun kosteuden vaikutuksen päätehakkuussa korjattavien kuusen ja männyn eri osien lämpöarvoon (Olofsson 1975).

Kosteuden ollessa alle 50 % on sen vaikutus teholliseen lämpöarvoon suhteellisen vähäinen. Epätäydellisen palamisen ym. tekijöiden vuoksi ei tehollisen lämpöarvon osoittamaa energiamäärää kuitenkaan saada

millään lämmityslaitteilla kokonaisuudessaan talteen. Polton hyötysuhde osoittaa tehollisesta lämpöarvosta talteen saatavan osuuden. Puulla polton hyötysuhde on käytännössä parhaimmillaan 0,70...0,75 (Hakkila 1978). Uudenaikaisissa öljykattiloissa polton hyötysuhde on 0,80...0,85, suurissa kattiloissa jopa 0,90 (Niskala, J., Neste Oy, suull. laus. 1981). Polton hyötysuhde riippuu polttoaineen lisäksi mm. lämmityskattilan koosta, säädöistä ja hoidosta.

Kosteuden lisääntyminen alentaa polton hyötysuhdetta. Puun kosteuden noustessa 60 %:iin tasainen palaminen alkaa tuottaa vaikeuksia. Koska kosteus vaikuttaa sekä teholliseen lämpöarvoon että polton hyötysuhteeseen, on sitä pyrittävä alentamaan polttopuuta korjattaessa ja varastoitaessa.

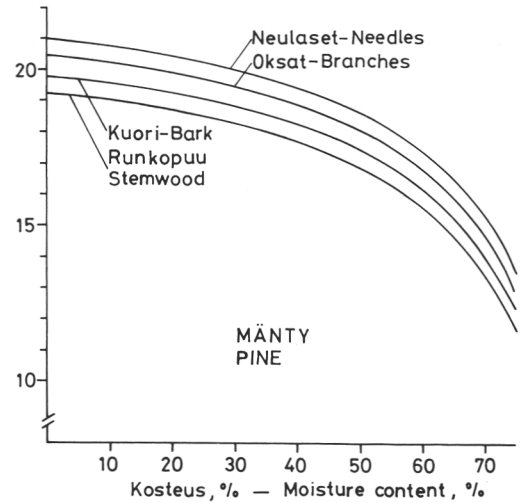
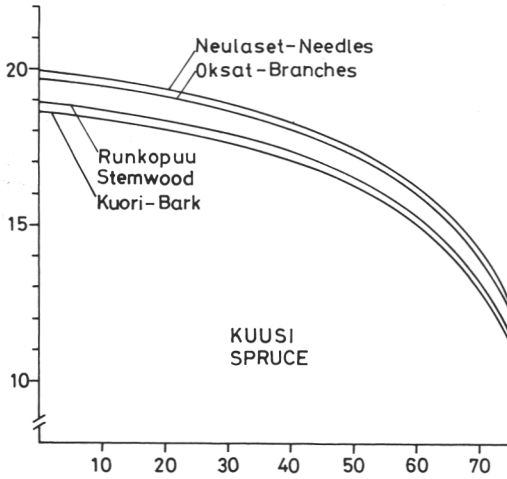
Hakkuutähteen kuivuminen riippuu varastointiajan pituudesta ja säätilasta. Talvelta hakkuutähteen kosteus pysynee lähes muuttumattomana, mutta loppukevällä ja kesällä jo lyhytkin varastointiaika kuivattaa levällään olevaa hakkuutähdettä huomattavasti. Kuivumisen kannalta on tärkeää, että hakkuutähteen annetaan olla riittävän kauan levällään palstalla, sillä suurissa välivarastokasoissa vain kasan pintaosat kuivuvat ja tuoreet neulaset kasan sisällä alkavat maata (Mäkelä 1977a). Oletettavasti hakkuutähte kuivuu monitoimikoneiden muodostamissa kasoissa huonom-

Taulukko 3. Eräiden puutavaralajien tehollinen lämpöarvo megajouleina kiintokuutiometriä kohti (Hakkila 1978).
Table 3. The effective fuel value of certain fuel wood assortments in megajoules per solid cubic meter (Hakkila 1978).

Puutavaralaji Assortment	Puulaji Species	Tiheys Basic density, kg/m ³	Kosteus, % — Moisture content, %				Toe/m ³ *
			0	20	40	60	
			MJ/m ³				
Kuorellinen pinopuu Unbarked stemwood	Mänty — Pine	390	7511	7274	6876	6080	,169
	Kuusi — Spruce	380	7266	7034	6646	5871	,164
	Koivu — Birch	490	9555	9256	8756	7757	,215
	Leppä — Alder	360	6840	6626	6268	5553	,154
Harvennusten kokopuuhaake Whole-tree chips from thinnings	Mänty — Pine	385	7542	7307	6916	6129	,170
	Kuusi — Spruce	400	7676	7432	7024	6208	,173
	Koivu — Birch	475	9044	8754	8270	7301	,203
	Leppä — Alder	370	7030	6805	6428	5675	,158
Hakkuutähdhake neulasitta Chips from logging residues without needles	Mänty — Pine	405	8246	7999	7586	6723	,187
	Kuusi — Spruce	465	9161	8877	8403	7454	,207
	Koivu — Birch	500	9850	9545	9035	8015	,222
Hakkuutähdhake neulasineen Chips from logging residues with needles	Mänty — Pine	395	8113	7872	7470	6628	,184
	Kuusi — Spruce	425	8242	8164	7731	6864	,190
Kanto- ja juuripuu Stumps and roots	Mänty — Pine	475	9277	8987	8503	7534	,209
	Kuusi — Spruce	435	8296	8030	7586	6699	,187

* Kuutiometrin lämpöarvo ekvivalenttina öljytonneina puun kosteuden ollessa 40 %. — The effective fuel value at 40 % moisture content, toe/m³.

Tehollinen lämpöarvo MJ/kg kuiva-ainetta
The effective fuel value MJ/kg dry substance



Kuva 2. Kosteuden vaikutus päätehakuissa korjattavien kuusen ja männyn eri osien teholliseen lämpöarvoon (Olofsson 1975).

Figure 2. The effect of moisture content on the effective fuel value of different parts of spruce and pine to be harvested in final felling (Olofsson 1975).

min kuin levällään palstalla. Tutkimustulosten puuttuessa ei hakkuutähteen kuivumisesta eri olosuhteissa voida kuitenkaan esittää tarkkoja tietoja.

Hakkuutähteen koostumus riippuu mm. puulajista ja maantieteellisestä sijainnista. Mäkelän (1977a) tutkimuksessa 11 eteläsuomalaisen kuusivaltaisen leimikon hakkuutähteen koostumus muuttui 2 kk:ssa levällään palstalla seuraavasti:

	Puuaine	Kuori	Neulas
Ennen hakkuuta	40 %	23 %	37 %
2 kk:n varastoinnin jälkeen	60 %	30 %	10 %

Poltton kannalta hakkuutähteen koostumuksella ei ole juuri merkitystä. Metsämaan ravinnetalouden vuoksi on kuitenkin tärkeää, että pääosa runsasravinteisista neulasista jää metsään. Ravinnetappioiden välttämiseksi tulee hakkuutähte jättää levälleen palstalle vähintään 2 kuukaudeksi kesäaikana (Mäkelä 1977a). Tänä aikana hakkuutähte myös kuivuu huomattavasti. Kuivuminen edistää oksien katkeilemista haketuksessa, mikä vähentää syöttölaitteiden tukkeutumista hakkeen polttolaitoksissa.

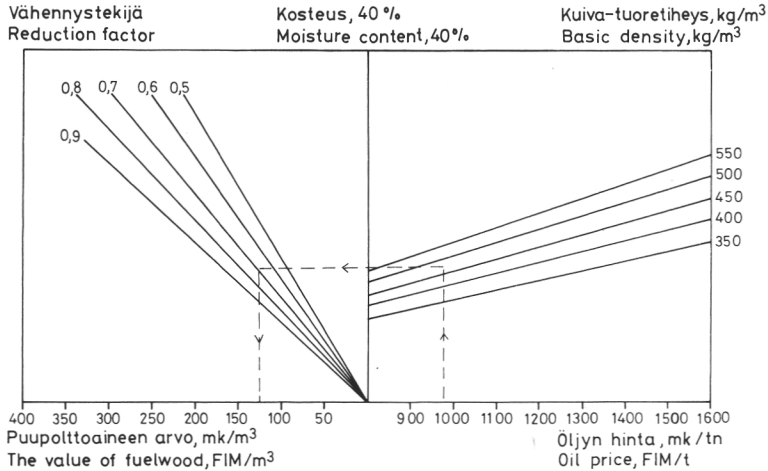
4. PUUN ARVO ENERGIANLÄHTEENÄ

Arvolaskelmissa puuta verrataan tavallisesti siihen energianlähteeseen, joka puulla voidaan korvata. Useimmiten puuta verrataan polttoöljyyn, mutta yhtä hyvin voi vaihtoehtoisena polttoaineena olla esim. kivihiili tai turve.

Seuraavassa verrataan puuta raskaaseen ja kevyeseen polttoöljyyn laskemalla kuinka paljon puu saa enintään maksaa käyttöpisteessä, jotta sillä voitaisiin korvata poltto-

öljyä. Laskentamenetelmä pohjautuu ruotsalaisten Dehle'nin ja Mattssonin julkaisuun vuodelta 1980.

Puusta talteen saatava energiamäärä riippuu polton hyötysuhteesta. Talteen saatavaa lämpöenergiaa kutsutaan jäljempänä puun käyttökelpoiseksi lämpöarvoksi. Kosteuden puun käyttökelpoinen lämpöarvo saadaan seuraavan kaavan avulla (Dehle'n ja Mattsson 1980):



Kuva 3. Puun arvo 40 %:n kosteudessa, raskaan polttoöljyn hinnasta, puun kuiva-tuoretiheydestä ja vähennystekijästä riippuen.

Figure 3. Value of wood at 40 % moisture content pro-rated to the price of heavy fuel oil, the basic density of the wood and the reduction factor.

$$W_k = n \cdot (W_e - \frac{2,45 \cdot F}{100 - F})$$

W_k = kostean puun käyttökelpoinen lämpöarvo, MJ/kg kuiva-ainetta

n = polton hyötysuhde

W_e = kuivan puun tehollinen lämpöarvo (= keskimäärin 19,2 MJ/kg kuiva-ainetta)

2,45 = veden höyrystyslämpö (MJ/kg) + 20° lämpötilassa. Sisältää veden lämpenemisen +100°:een, veden höyrystymisen ja vesihöyryn jäähtymisen +20°:een.

F = puun tuorepainosta laskettu kosteus, %

V = puupolttoaineen arvo käyttöpaikalla, mk/m³

W_k = puupolttoaineen käyttökelpoinen lämpöarvo, MJ/kg kuiva-ainetta

O_p = öljyn hinta, mk/t

n_o = polton hyötysuhde öljylämmityksessä

W_o = polttoöljyn lämpöarvo, MJ/kg

Z = puun kuiva-tuoretiheys, tn/m³

R = vähennystekijä, joka johtuu puun suuremmista laite- ja käsittelykustannuksista

Varsinaisen polttamisen osalta puun käyttö on öljyä kalliimpaa. Tämä johtuu puukattiloiden korkeista investointi- ja huoltokustannuksista sekä puun käsittelyn hankaluudesta. Jotta puulla kannattaisi korvata polttoöljyä, täytyy puun polttoainekustannusten tuottama energiayksikköä kohti siis olla polttoöljyyn verrattuna oleellisesti alhaisemmat. Tämän vuoksi tulee laskelmissa käyttää vähennystekijää, joka ottaa huomioon puun käyttämisestä aiheutuvat lisäkustannukset.

Vähennystekijä vaihtelee välillä 0,5...0,8 käyttökohteesta riippuen (ks. Dehle'n ja Mattsson 1980). Puupolttoaineen likimääräinen arvo voidaan laskea alla olevalla kaavalla, joka antaa korkeimman hinnan, joka puusta voidaan maksaa käyttöpaikalla, jotta sillä kannattaisi korvata polttoöljyä.

$$V = \frac{W_k \cdot O_p}{n_o \cdot W_o} \cdot Z \cdot R$$

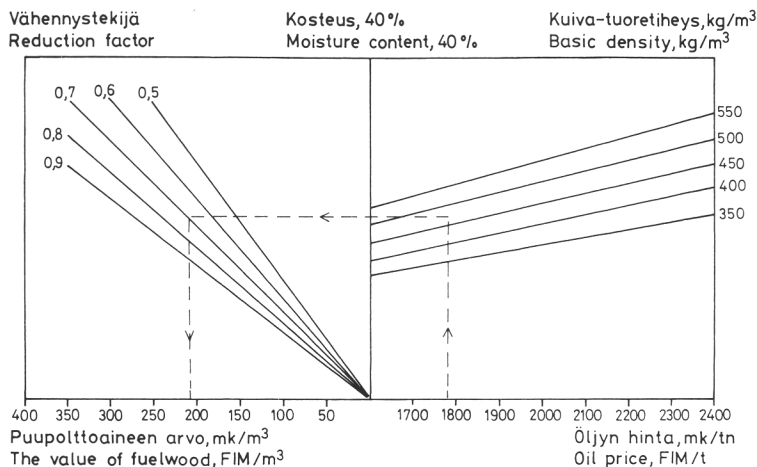
Kaava edellyttää, että puu voidaan polttaa siinä muodossa, jossa se tuodaan käyttöpaikalle. Jos puu joudutaan esim. hakettamaan käyttöpaikalla, täytyy haketuskuustannus vähentää kaavan antamasta arvosta.

Edellä esitettyjen kaavojen perusteella on laadittu kuvat 3 ja 4, joista puupolttoaineen arvo saadaan öljyn hinnan, puun kuiva-tuoretiheyden ja vähennystekijän mukaan. Kuvassa 3 puuta verrataan raskaaseen ja kuvassa 4 kevyeseen polttoöljyyn.

Laskennassa on käytetty seuraavia arvoja:

	Lämpöarvo, MJ/kg	Hinta, mk/t (kesäkuu 1981)
Raskas polttoöljy	40,5	980
Kevyt polttoöljy	42,7	1780
Polton hyötysuhde öljyllä		0,85
Polton hyötysuhde puulla		0,75
Puun kosteus, %		40

Kuvien 3 ja 4 esimerkeissä verrataan raskaaseen ja kevyeseen polttoöljyyn kesä-



Kuva 4. Puun arvo 40 %:n kosteudessa, kevyen polttoöljyn hinnasta, puun kuiva-tuoretiheydestä ja vähennystekijästä riippuen.
Figure 4. Value of wood at 40 % moisture content pro-rated to the price of light fuel oil, the basic density of the wood and the reduction factor.

kuun 1981 hintatasolla koivukokopuusta tehtyä haketta, jonka kosteus on 40 % ja kuiva-tuoretiheys (kuiva-ainetta kiintokuu-tiometrissä) 475 kg/m³. Vähennystekijänä on 0,7. Kuvien katkoviivat osoittavat, että raskaaseen polttoöljyyn verrattuna koivuhakkeen arvo on noin 125 mk/m³ ja kevyeseen polttoöljyyn verrattuna noin 210 mk/m³.

Vastaavalla tavalla voidaan verrata 2/3 kuusta ja 1/3 mäntyä sisältävää hakkuutähdehaketta raskaaseen ja kevyeseen polttoöljyyn. Hakkuutähdehakkeen, jonka kuiva-tuoretiheys on 445 kg/m³, arvoksi saadaan 40 %:n kosteudessa raskaaseen polttoöljyyn verrattuna noin 120 mk/m³

ja kevyeseen polttoöljyyn verrattuna noin 195 mk/m³ vähennystekijän arvolla 0,7.

On huomattava, että nomogrammien arvot riippuvat vähennystekijästä, joka vaihtelee suuresti olosuhteista riippuen. Esimerkiksi vähennystekijän arvolla 0,6 saadaan hakkuutähdehakkeen arvoiksi vastaavasti noin 100 mk/m³ ja noin 170 mk/m³. Nomogrammeja tuleekin käyttää vain puupolttoaineen likimääräisen arvon määrittämiseen. Lisäksi niiden avulla voidaan verrata tiheydeltään ja kosteudeltaan erilaisia puupolttoaineita toisiinsa, sekä tutkia öljyn hinnan muutosten vaikutusta puupolttoaineen arvoon.

5. TUTKITTUJEN PROTOTYYPPIHAKKUREIDEN TEKNISET TIEDOT

51. Hakki palstahakkuri

Hakki palstahakkuri on rakennettu S.A. Tervo Oy Karjalan Rautarakenteen ja urakoitsija Hannu Kosken-salon yhteistyönä tavoitteena hakkuutähteiden palstahaketus. Tutkittu hakkuri on koneen ensimmäinen prototyyppi.

Monitoimikonetyömailla hakkurin on tarkoitus kulkea monitoimikoneen ja kuormatraktorin ajouria pitkin ja haketta ajouran varressa olevat hakkuutähdekat. Moottorisahatyömailla hakkurin käyttö edellyttäne hakkuutähteiden esikasausta. Hakkuria voidaan käyttää myös rankojen ja kokopiitten haketukseen.

Hakki palstahakkuri edustaa kevyen linjan hakkurikalustoa. Peruskoneena on 4-vetoinen maataloustrak-

tori ja hakkurina Hakki laikkahakkuri, jossa vakio-mallin rakenteita on hieman vahvistettu. Haketusyksikköön kuuluu traktorin ja hakkurin lisäksi kevyt hydraulikuormain ja kipattava hakesäiliö (värisivu 1). Koneen hallintalaitteet ovat traktorin ohjaamossa,

Värisivu 1 — The colour page 1:

Yläkuva: Hakki palstahakkuri.

Vasen alakuva: Hakkurin syöttölaite.

Oikea alakuva: Hakki palstahakkurilla valmistettua hakkuutähdehaketta.

Above: The Hakki terrain chipper.

Below left: The infeed device of the chipper.

Below right: Logging residue chips made by the Hakki terrain chipper.



mistä ne voidaan irrottaa hyvin nopeasti, joten traktoria voidaan käyttää myös muuhun työhön.

Voima hakkuriin välittyy traktorin voimanulosotosta nivelakselin kautta apuakselille ja siltä edelleen kiilahhinoilla sivusuunnassa hakkurin akselille.

Tutkitun koneen tekniset tiedot ovat seuraavat:

Peruskone: 4-vetoinen Zetor 8045 Crystal maatalous-traktori

Pituus	3945 mm
Leveys	1845 mm
Korkeus	2700 mm
Paino	4150 kg

Moottori: Vesijäähdytteinen 4-tahtinen, 4-sylinterinen suorasuuhkutteinen rividieselmoottori. Teho 59 kW/2200 r/min (80,3 hv).

Hakkuri:

Terälaikan halkaisija	1050 mm
Terälaikan paino	330 kg
Terien lukumäärä	3 kpl
Pyörimisnopeus	750 r/min
(voimanulosottoakselin kierrosluvulla 540 r/min)	
Syöttöaukon koko	225 × 225 mm
Hakkeen pituus säädettävissä	4...22 mm
Valmistajan ilmoittama	
tehon tarve	70...90 kW

Syöttölaite:

4 hydraulimoottorilla varustettua syöttörullaa, joista 2 säädettävää.

Syöttölaite varustettu omalla 2-piirihydrauliikalla. Syöttölaite kiinteä, syöttö koneen oikealta puolen, noin 45°:n kulmassa koneen pituussuuntaan nähden. Syöttöpöytä nostettavissa ylös kuljetuksen ja siirtymisten ajaksi.

Kuormain:

KESLA Oy:n valmistama Jyty 2700 hydraulikuormain

Ulottuvuus	4,6 m
Nostomomenti	2700 Nm

Hakesäiliö:

Tilavuus	6,7 m ³
Kippauskorkeus	3 m
Mekaaniset tukijalat kippausta varten.	

Koko yksikön pituus	10,8 m
Koko yksikön paino	7500 kg

52. HS-500 HD hakkuutähdehakkuri

HS-500 HD hakkuutähdehakkurin valmistaja on H-Steel Oy. Hakkuri voidaan kiinnittää joko maataloustraktorin kolmipistekiinnitykseen tai kuormauton alustalle. Hakkuria voidaan käyttää myös sähkömoottorilla. Syöttö tapahtuu esimerkiksi maataloustraktorin katolle asennetulla kourakuormaimella.

Hakkuri on tarkoitettu hakkuutähteiden, rankojen ja kokopuun varastohaketukseen, joten sen käyttö edellyttää erillistä maastokuljetusta. Hake puhalletaan

haketussyksikön viereen tai taakse sijoitettuun perävaunuun tai vaihtolavaan.

Prototyyppihakkuri (värisivu 2) on rakennettu HS-500 HD rumpuhakkurista liittämällä siihen syöttökouru, jonka pohjalla on hydraulimoottorin käyttämä ketjukuljetin. Ketjun lisäksi hydraulimoottori käyttää kourun päässä olevaa syöttörullaa. Rikkoutumisten estämiseksi syöttölaite on varustettu ylikuormituskytkimellä. Syöttölaitteen tukkeutuessa sitä voidaan pyörittää taaksepäin käyttämällä hakkurin päällä olevaa ohjausvipua.

Tutkimuksessa jouduttiin käyttämään kahta traktoria, koska saatavilla ei ollut konetta, joka olisi voinut käyttää sekä hakkuria että kuormainta. Hakkurin ja kuormaimen käyttö samalla koneella näet edellyttää tiettyjä muutoksia koneen hydraulijärjestelmässä. Hakkuria käytettiin Massey Ferguson 595 maataloustraktorilla ja syötettiin Valmet 702 traktorin katolle asennetulla RKP 2600 kuormaimella. Hake puhallettiin hakkurin vieressä olevaan traktorin perävaunuun.

Tutkittujen hakkureiden keskinäisen vertailun helpottamiseksi myöhemmissä laskelmissa oletetaan, että molempia hakkureita käytetään Zetor 8045 Crystal traktorilla, mikä on teknisesti täysin mahdollista. Tämän vuoksi alla esitetään ainoastaan HS-500 HD hakkuutähdehakkurin ja RKP 2600 kuormaimen tekniset tiedot.

Hakkuri:

Terärummun halkaisija	450 mm
Terien lukumäärä	3 kpl
Pyörimisnopeus	900...1050 r/min
Syöttöaukon koko	400 × 200 mm
Hakkeen pituus säädettävissä	5...38 mm
Rummun ympärillä pika-	
vaihdeettava seula	
(halutulla reikäkoolla)	520 × 520 mm
Valmistajan ilmoittama	
tehon tarve	20...90 kW

Syöttölaite:

Syöttökourun pituus	180 cm
Syöttökourun leveys päältä	97 cm
Syöttökourun leveys juuresta	40 cm
Kourun pohjalla ketjukuljetin, jossa 40 cm:n pituiset kolat 12,5 cm:n välein.	
Jousien varassa korkeussuunnassa säätävä yläpuolinen syöttörulla.	
Syöttölaite varustettu ylikuormituskytkimellä ja ohjausvivulla.	
Hydraulipumpun tuotto	10 dm ³ /min
Öljysäiliön tilavuus	40 dm ³
Kuljetuksen ajaksi syöttökouru voidaan kääntää sivuun.	

Kuormain:

Rovaniemen Konepajan valmistama RKP 2600 kuormain.	
Ulottuvuus	4,8 m
Nostomomenti	2560 Nm

6. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

Aikatutkimuksen kohteena oli tuotantoaika, joka jaettiin tehoaikaan ja keskeytyksiin. Tehoaika jaettiin edelleen työvaiheiden perusteella osa-aikoihin. Keskeytyksiin kulunut aika ja keskeytyksen symerkittiin muistiin.

Haketukseen valmistautumista ei erotettu omaksi työvaiheekseen, vaan haketuksen katsottiin alkavan traktorin kierrosluvun nostamisesta haketuskierroksille ja kuormaimen esiinnotamisesta. Varsinainen haketus tarkoittaa sitä aikaa, jolloin hakkuri haket-

taa puita eli haketorvesta tulee ulos haketta. Hakkurin tyhjänäpyörimisaika on vastaavasti se aika, jolloin hakkuri pyörii tyhjillään. Kippaukseen valmistautuminen tarkoittaa mekaanisten tukijalkojen maahan laskemiseen kuluva aika.

Aikatutkimuksen yhteydessä laskettiin hakettujen runkojen, haketustaakkojen sekä kasojen lukumäärä rungon, haketustaakan ja kasan keskikokoon määrittystä varten. Yhdeksi rungoksi katsottiin myös katkaistu rungon osa.

Hakkurin kuljettajan ajankäytön rakennetta hakeutusvaiheen aikana tutkittiin frekvenssimenetelmällä, jossa havainnointiväli oli 20 cmin.

Kokopuun haketukseen verrattuna hakkuutähteen haketus sisälsi kaksi uutta työvaihetta: taakan ravistelun ja syöttöpöydän tyhjentämisen. Taakan ravistelulla pyritään pudottamaan taakassa löyhästi kiinni riippuvat oksat maahan sekä vähentämään neulasia taakasta. HS-500 HD hakkuutähdhakkurin käyttäjä ei kuitenkaan käyttänyt taakan ravistelua. Aika ajojen hakkurin syöttöpöytä jouduttiin tyhjentämään kourakuormaimella sille epäjärjestykseen kertyneistä oksista.

Koska kysymyksessä oli kehitystyön kohteena olevien prototyypilaitteiden tutkiminen, kuljettajien kokemus ja tuntuma työhön oli aikatutkimusaineistoa kerätessä vielä puutteellinen. Tämä lienee vaikuttanut tuloksiin kummassakin tapauksessa.

Hakki palstahakkuria koskeva tutkimusaineisto hakkuutähteen palstahaketuksesta kerättiin 15.6...18.6.1981 Tohmajärvellä. Työmaan puusto, joka oli lähes yksinomaan kuusta oli korjattu Lokomo-Ösa prosessorilla kesäkuussa 1980. Suurin osa hakkuutähteen neulasista oli karissut irti oksista. Haketus tapahtui pitkäaikaisten sateiden jälkeen, minkä vuoksi hakkuutähteen poikkeuksellinen märkyys vaikeutti sen luistamista hakkurin syöttöpöydällä. Maasto oli tasaista ja kantavaa, eikä työskentelyä häittäviä maastoesteitä esiintynyt kantoja lukuun ottamatta.

Vertailuaineistona tutkittiin mäntytaimiston läpi kulkevan metsätien varteen ihmistyönä kasattujen puiden haketusta. Taimistosta harvennetut pienikokoiset mänyt oli kaadettu jo kesällä 1979, joten ne olivat erittäin kuivia, eivätkä oksat juuri hidastaneet haketusta. Olosuhteiltaan haketus vastasi lähinnä palstalle ajo-uran varteen kasattujen puiden haketusta, joskin siirtyminen kasalta toiselle oli tien ansiosta tavallista nopeampaa.

Hakki palstahakkurilla hakettujen puumäärät nähdään seuraavasta asetelmasta.

	Hakkeen irtotilavuus, i-m ³	Hakkeen kiintotilavuus, m ³
Hakkuutähide	26,4	12,1
Mäntykokopuu	13,3	5,4

Tutkimusaineisto HS-500 HD hakkuutähdhakkurilla suoritetusta hakkuutähteen välivarastohaketuksesta kerättiin 15.7...1.10.1981 Alahärmässä. Tutkimustyömaan puusto oli korjattu Lokomo-Ösa prosessorilla loka—marraskuussa 1980. Hakkuutähteet oli ajettu kuormatraktorilla noin 2 m korkeaan pinnoon viikkoa ennen haketusta. Varastoalueen maasto oli suhteellisen tasaista ja kantavaa, joten maatalous-tractorit pystyivät liikkumaan vaikeuksista. Leimikon puusto oli yksinomaan kuusta.

HS-500 HD hakkuutähdhakkurilla hakettujen karsitut rangat oli ajettu varastopinoon tasaiselle kentälle. Puutavara, josta noin 90 % oli koivua ja noin 10 % mäntyä, oli peräisin taimiston perkauksesta. Puumäärät on esitetty seuraavassa asetelmassa.

	Hakkeen irtotilavuus, i-m ³	Hakkeen kiintotilavuus, m ³
Hakkuutähide	61,3	26,2
Karsittu ranka	10,2	4,4

7. TULOKSET

71. Hakki palstahakkurin ajanmenekki ja tuotos

Haketettaessa hakkuutähteitä palstalla oli haketuksen osuus tehoajasta 74 % (taulukko 4). Taakkojen pienen koon ja syötön hankaluuden vuoksi hakkurin tyhjänäpyörimisaika oli peräti 68 % haketusajasta.

Siirtymisnopeus palstalla oli keskimäärin 13 m/min ja metsäautotiellä kippaukseen siirryttäessä kuormattuna 126 m/min ja tyhjänä 200 m/min. Vertailun vuoksi mainittakoon Melkon (1977) TT 1000 F palstahakkuria koskeva tutkimus, jossa siirtymisnopeus oli palstalla 41...43 m/min ja metsäautotiellä 136 m/min.

Alhainen siirtymisnopeus palstalla, jonka maasto oli verraten helppokulkuista, johtuu prototyypihakkurin huonosta maastokelpoisuudesta. Maastokelpoisuutta onkin tarkoitettu parantaa varustamalla seuraavaa haketusyksikköä telillä ja korottamalla sen maavaraa. Lisäksi haketusyksikköä lyhennetään

Värisivu 2 — *The colour page 2:*

Yläkuva: HS-500 HD hakkuutähdhakkuri.

Vasen alakuva: Hakkuutähddepino välivarastolla.

Oikea alakuva: HS-500 HD hakkuutähdhakkurilla valmistettua hakkuutähdhaketusta.

Above: The HS-500 HD logging residue chipper.

Below left: A pile of logging residues at the landing.

Below right: Logging residue chips made by the HS-500 HD logging residue chipper.



Taulukko 4. Hakki palstahakkurin tuotantoajan menekki kiintokuutiometriä kohti hakkuutähteen palstahaketuksessa.

Table 4. Production time consumption of the Hakki terrain chipper per solid cubic meter in the chipping of logging residues in the cutting area.

Työvaihe — Work phase	cmin/m ³	Osuus tehoajasta, % Share in effective time, %
Siirtyminen haketuspaikalle (500 m) Moving to the chipping site (500 m)	88	1,8
Haketus, josta Chipping, of which	3695	74,4
— varsinainen haketus aika actual chipping time	(1193)	(24,1)
— hakkurin tyhjänäpyörimisaika idling time of the chipper	(2502)	(50,3)
Työpistesierrot Movements between work points	877	17,7
Siirtyminen kippaukseen (500 m) Moving to tipping (500 m)	136	2,7
Kippaukseen valmistautuminen Preparing for tipping	62	1,3
Hakesäiliön kippaus Tipping of the chip bin	102	2,1
Teho aika yhteensä Total effective time	4960	100,0
Keskeytykset (20 % tuotantoajasta) Interruptions (20 % of production time)	1240	
Tuotantoaika Production time	6200	

sijoittamalla hakkuri niin, että syöttö tapahtuu lähes kohtisuoraan koneen sivulta.

Siirtyminen haketuksesta kippaukseen on laskettu 500 m:n matkaa kohti. Koska hakkuutähteen palstahaketus tapahtuu pääsääntöisesti kesällä, jolloin käyttäjien vastaanottomahdollisuudet ovat rajoitetut, saatetaan haketta joutua varastoimaan ennen sen toimittamista käyttäjille. Käytettävissä olevasta kalustosta ja ajomatkan pituudesta riippuu, kuljetetaanko hake varastoon hakkurin säiliössä vai esimerkiksi erillisen kuljetustraktorin perävaunussa. Hakkurin peruskoneena olevan traktorin suhteellisen hyvästä kulkunopeudesta johtuen ei erillistä kalustoa kannata käyttää kovin lyhyillä kuljetusmatkoilla (ks. taulukko 5).

Haketustyön teho- ja tuotantoaikatulo on esitetty seuraavassa asetelmassa.

	Teho aika- tuotos/h	Tuotantoaika- tuotos/h
Hakkeen kiintotilavuus, m ³	1,2	1,0
Hakkeen irtotilavuus, i-m ³	2,6	2,2
Hakkeen kuivamassa, kg	545	455

Taakan pienen koon ja syötön hankaluuden vuoksi haketuksen tuotos jäi alhaiseksi. Haketushetkellä hakkuutähteen oli hyvin märkää, mikä hakkurin kuljettajan mielestä hidasti haketusta selvästi. Sopivan taakan saaminen pienistä epäjärjestyksessä olevista oksista oli hankalaa, minkä vuoksi pienimmät oksat jätettiin hakettamatta. Tämä lisäsi luonnollisesti työpistesierroihin kuluva aikaa. Latvusten ja raivauspuun haketus kävi oksien haketusta nopeammin. Suoruu- tensa ansiosta männyn ja koivun oksat

Taulukko 5. Kuljetusmatkan vaikutus Hakki-palstahakkurin tuotokseen.

Table 5. Effect of the transport distance on the output of the Hakki terrain chipper.

Kuljetusmatka, m Transport distance, m	Teho aika tuotos, m ³ Output per effective time, m ³	Suhteellinen tuotos Relative output
100	1,25	103
300	1,23	102
500	1,21	100
1000	1,16	96
2000	1,07	88

menivät hakkuriin kuusen oksia paremmin.

Etäisyys haketorven suusta hakesäiliön reunaan oli noin 170 cm (värisivu 1). Hakkurin puhallusvoima ei riittänyt puhaltamaan kaikkein hienojakoisinta haketta säiliöön asti, ja toisaalta osa suurikokoisista, painavista hakepaloista lensi säiliön yli. Arviolta 5...10 % hakkeesta meni säiliön ohi. Tämä puute korjataan pidentämällä ja muotoilemalla haketorvea.

Kuljetusmatkan vaikutus palstahaketuksen tuotokseen käy ilmi taulukosta 5.

Kuljetusmatkan vähäinen vaikutus tehoaikatuotokseen johtuu siitä, että haketuspaikan ja varaston välisiin siirtymisiin kuluvan ajan osuus kokonaistehoajasta on hyvin pieni. Esimerkiksi 500 m:n matkalla tämä osuus on vain 4,5 %.

Hakkuutähdehaketuksen luonnetta kuvaavat seuraavat tutkimusaineistosta lasketut keskiarvoluvut. Hakkuutähdehaketuksen keskikoko osoittaa kasasta talteen saadun tähteen määrän eikä kasan todellisuudessa sisältämää määrää.

Hakkuutähdehaketuksen keskikoko	0,121 m ³
Haketustaakan keskikoko	0,017 m ³
Haketustaakkoja/kuorma	174 kpl

Haketustaakan keskikoko jäi erittäin pieneksi, sillä suuret taakat eivät menneet ahtaan syöttöaukon läpi hakkuriin. Taakan suurentaminen syöttölaitetta parantamalla ja syöttöaukkoa suurentamalla on välttämättömyyksiä tuotoksen kohottamiseksi. Myös kuormaimen kouran muotoileminen saattaa helpottaa syöttöä.

Taulukko 6 osoittaa kuljettajan ajankäytön rakenteen haketusvaiheen aikana. Kuljettajan työajasta lähes 80 % kului kuormaimen käsittelyyn, noin 15 % työpistesiiirtoihin ja loput syötön odotukseen ja haketuksen valmistautumiseen.

Mellström ja Thörlind (1981) saivat 5 monitoimikonetyömaata käsittävissä tutkimuksissaan talteensaantoprosentiksi kesäaikana 50...60 %. Työskentelyn huolellisuuden ohella talteensaantoon vaikuttaa heidän mukaansa mm. puuston laatu, korjuumenetelmä, hakkuutähteiden ikä sekä keruujänkohta. Mäkelän (1977b) tutkimuksessa hakkuutähteistä saatiin 12 työmaalta talteen keskimäärin 37 %, mikä oli 16 % korjatun kuorellisen runkopuun määrään verrattuna. Koska varsinkin pienten oksien haketus Hakki palstahakkurilla oli erittäin hankalaa, lienee talteensaantoprosentti

Taulukko 6. Hakki palstahakkurin kuljettajan ajankäytön rakenne.

Table 6. Composition of the consumption of time by the Hakki terrain chipper operator.

Työvaihe — Work phase	Osuus ajankäytöstä, % Share in consumption of time, %
Valmistautuminen haketuksen <i>Preparing for chipping</i>	0,5
Kouran siirto tyhjänä <i>Moving the grapple empty</i>	14,3
Kouraisu <i>Grappling</i>	12,8
Taakan muotoileminen <i>Forming the bunch</i>	3,2
Taakan ravistelu <i>Shaking the bunch</i>	3,8
Kouran siirto kuormattuna <i>Moving the grapple loaded</i>	17,3
Taakan asettelu syöttölaitteeseen <i>Putting the bunch into the infeed device</i>	12,7
Syötön auttaminen <i>Assisting the infeeding</i>	12,1
Odotus syötössä <i>Waiting during feeding</i>	6,5
Syöttöpöydän tyhjentäminen <i>Emptying the infeed table</i>	1,7
Työpistesiiirrot <i>Movements between work points</i>	15,1
Yhteensä — Total	100,0

tässä kokeessa jäänyt vieläkin alhaisemmaksi.

Tuotantoajan menekki mäntykokopuun palstahaketuksessa on esitetty taulukossa 7. Keskimäärin 58 % tehoajasta on kulunut haketuksen. Hakkurin tyhjänäpyörimisaika on 58 % haketusajasta eli hieman pienempi kuin hakkuutähteen haketuksessa. Kasojen pienen koon ja suuren välimatkan (40 m) vuoksi on työpistesiiirtojen osuus tehoajasta suuri (25,5 %), vaikka siirtymisnopeus kasalta toiselle oli 46 m/min (hakkuutähteen haketuksessa siirtymisnopeus oli 13 m/min).

Ajanmenekin perusteella lasketut tunti-tuotokset käyvät ilmi alla olevasta asetelmasta, jossa kuljetusmatkaksi on oletettu 500 m. Hakkuutähteen haketuksen verrattuna tuotokset ovat 2,5 kertaiset.

	Tehoajaka- tuotos/h	Tuotantoaika- tuotos/h
Hakkeen kiintotilavuus, m ³	2,9	2,3
Hakkeen irtotilavuus, i-m ³	6,3	5,0
Hakkeen kuivamassa, kg	1320	1050

Taulukko 7. Hakki palstahakkurin tuotantoajan menekki kiintokuutiometriä kohti mäntykokopuun palstahaketuksessa.

Table 7. Production time consumption of the Hakki terrain chipper per solid cubic meter in the chipping of whole-tree pine in the cutting area.

Työvaihe — Work phase	cm ³ /m ³	Osuus tehoajasta, % Share in effective time, %
Siirtyminen haketuspaikalle (500 m) Moving to the chipping site (500 m)	88	4,2
Haketus, josta Chipping, of which	1198	57,7
— varsinainen haketus aika actual chipping time	(506)	(24,4)
— hakkurin tyhjänäpyörimisaika idling time of the chipper	(692)	(33,3)
Työpistesierrot Movements between work points	529	25,5
Siirtyminen kippaukseen (500 m) Moving to tipping (500 m)	136	6,6
Kippaukseen valmistautuminen Preparing for tipping	62	3,0
Hakesäiliön kippaus Tipping of the chip bin	62	3,0
Teho aika yhteensä Total effective time	2075	100,0
Keskeytykset (20 % tuotantoajasta) Interruptions (20 % of production time)	519	
Tuotantoaika — Production time	2594	

Taulukon 7 avulla voidaan karkeasti arvioida hakkurin tuotos hakettaessa vastavankokoista mäntykokopuuta välivarastolla. Vähentämällä palstahaketuksen ajanmenekistä työpistesierrojen osuus saadaan tehotuntituotokseksi 3,9 m³. Välivarastohaketuksessa kasan pohjalta vaikeasti otettavissa olevia taakkoja on vähemmän ja vastaavasti taakan keskikoko on suurempi kuin palstahaketuksessa. Nämä tekijät yhdessä kompensoivat välivarastohaketuksessa työpistesierroihin kuluvan ajan, joten edellä laskettu tuotos ei liene ainakaan liian suuri. Tutkitulla hakkurilla lienee mahdollista päästä huomattavasti korkeampaan tuotokseen hakettaessa suurempaa kokopuuta välivarastolla. Kokopuun välivarastohaketuksen tuotos on tärkeä, koska pääosa kokopuusta haketaan juuri välivarastolla.

Palstahaketuksen olosuhteita kuvaavat seuraavat keskiarvoluvut:

Puun keskikoko	0,007 m ³
Haketustaakan keskikoko	0,036 m ³
Kasan keskikoko	0,163 m ³
Haketustaakkoja/kuorma	76 kpl

72. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin ajanmenekki ja tuotos

HS-500 HD hakkuutähdehakkurin tuotantoajan menekki hakkuutähteiden välivarastohaketuksessa käy ilmi taulukosta 8. Tehoajasta kului haketukseen 95,8 % ja työpistesierroihin 4,2 %. Tyhjänäpyörimisaika oli 34 % haketusajasta, mikä on 34 prosenttiyksikköä vähemmän kuin Hakki palstahakkurilla. Ero on kuitenkin osaksi näennäinen johtuen seulasta, jonka vuoksi hakkeen tulo torvesta on hitaampaa. Välivarastohaketuksessa taakan siirto vieressä olevasta pinosta on nopeampaa kuin palstahaketuksessa, mikä myös vaikuttaa eroon.

Ajanmenekin perusteella lasketut tehoja ja tuotantoaika tuotokset muodostuivat seuraaviksi. Haketustyön tuotos on yli kaksinkertainen Hakki palstahakkurin prototyypin tuotokseen verrattuna.

	Teho aika tuotos/h	Tuotantoaika tuotos/h
Hakkeen kiintotilavuus, m ³	2,7	2,1
Hakkeen irtotilavuus, i-m ³	6,3	4,9
Hakkeen kuivamassa, kg	1150	890

Taulukko 8. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin tuotantoajan menekki kiinto-kuutiometriä kohti hakkuutähteen välivarastohaketuksessa.

Table 8. Production time consumption of the HS-500 HD logging residue chipper per solid cubic meter in the landing chipping of logging residues.

Työvaihe — Work phase	cmin/m ³	Osuus tehoajasta, % Share in effective time, %
Haketus, josta <i>Chipping, of which</i>	2168	95,8
— varsinainen haketusaika <i>actual chipping time</i>	(1406)	(62,1)
— hakkurin tyhjänäpyörimisaika <i>idling time of the chipper</i>	(762)	(33,7)
Työpistesiirot <i>Movements between work points</i>	96	4,2
Tehoaika yhteensä <i>Total effective time</i>	2264	100,0
Keskeytykset (20 % tuotantoajasta) <i>Interruptions (20 % of production time)</i>	566	
Tuotantoaika — Production time	2830	

Seulan poistaminen ei kohottanut haketustyön tuotosta. Sen sijaan pitkien oksanpätkien määrä hakkeessa lisääntyi huomattavasti. Haketustaakan keskikoko oli 0,024 m³.

Hakkuria, joka on ensimmäinen prototyyppi, oli käytetty hyvin vähän ennen tutkimuksen suorittamista. Tämä tuli esiin useina pikku vikoina, jotka korjattiin tutkimuksen kuluessa. Ketjukuljetinta käyttävien hammaspyörien ja ketjun väliin kertyi hakepaloja, jotka hidastivat ketjun pyörimistä ja viimein pysäyttivät sen kokonaan. Vika korjattiin hitsaamalla kourun alapuolelle ”kynnet”, jotka kaapivat hammaspyörät puhtaiksi.

Syöttökourun alle kertyvän hienojakoisen materiaalin aiheuttamaa haittaa voidaan vähentää pienentämällä ketjukuljettimen ja vastaterän välistä rakoa metallilatalla sekä korottamalla hakkurin tukijalkoja. Hakkuria voidaan parantaa myös pidentämällä syöttökourua ja muotoilemalla sitä niin, että hakkuutähteiden syöttäminen helpottuu.

Tutkimuksen alkaessa ilmeni, että syöttölaitetta käyttävän hydraulipumpun teho oli riittämätön hakkuutähteitä haketettaessa. Syöttölaite tukkeutui erittäin herkästi, minkä vuoksi työn tuotos jäi alhaiseksi. Syöttölaitteen tehoa lisättiin käyttämällä sitä traktorin hydraulipumpulla, jonka tuotto (30 dm³/min) oli kolminkertainen hakkurin hydraulipumpun tuottoon verrattuna. Tällöin syöttölaitteen tukkeutumiset loppuivat

Taulukko 9. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin käyttäjän ajankäytön rakenne.

Table 9. Composition of the consumption of time by the HS-500 HD logging residue chipper operator.

Työvaihe — Work phase	Osuus ajankäytöstä, % Share in consumption of time, %
Valmistautuminen haketukseen <i>Preparing for chipping</i>	—
Kouran siirto tyhjänä <i>Moving the grapple empty</i>	18,6
Kouraisu <i>Grappling</i>	15,7
Taakan muotoileminen <i>Forming the bunch</i>	3,9
Kouran siirto kuormattuna <i>Moving the grapple loaded</i>	22,6
Taakan asettelu syöttölaitteeseen <i>Putting the bunch into the infeed device</i>	24,3
Syötön auttaminen <i>Assisting the infeeding</i>	9,9
Odotus syötössä <i>Waiting during feeding</i>	1,9
Syöttöpöydän tyhjentäminen <i>Emptying the infeed table</i>	—
Työpistesiirot <i>Movements between work points</i>	3,1
Yhteensä — Total	100,0

lähies kokonaan ja haketustyön tuotos parani 2,7 m³:iin/h. Mikäli hakkuri otetaan sarjavalmistukseen, on se varustettava nykyistä suuremmalla hydraulipumpulla.

Taulukko 10. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin tuotantoajan menekki kiinto-kuutiometriä kohti karsittujen rankojen välivarastohaketuksessa.

Table 10. Production time consumption of the HS-500 HD logging residue chipper per solid cubic meter in the landing chipping of delimbed stems.

Työvaihe — Work phase	cmin/m ³	Osuus tehoajasta, % Share in effective time, %
Haketus, josta Chipping, of which	1351	98,5
— varsinainen haketusaika actual chipping time	(914)	(66,7)
— hakkurin tyhjänäpyörimisaika idling time of the chipper	(437)	(31,9)
Työpistesiirot Movements between work points	20	1,5
Tehoaika yhteensä Total effective time	1371	100,0
Keskeytykset (20 % tuotantoajasta) Interruptions (20 % of production time)	343	
Tuotantoaika — Production time	1714	

Koska hakkuria käytettiin erillisellä traktorilla, ei hakkurin syöttäjä voinut käyttää syöttölaitteen ohjausvipua, vaan siitä huolehti hakkurin takana oleva apumies. Normaalioloissa hakkuria pyöritetään ja syötetään samalla traktorilla, jolloin syöttölaitetta voidaan käyttää traktorin ohjaamosta. Syöttölaitetta voidaan käyttää kätevimmin jalkakytkimellä, jolloin hakkurin käyttäjän kädet voivat keskittyä kuormaimen hallintaan.

Hakkurin käyttäjällä ei ollut aiempaa kokemusta hakkuutähdeiden haketuksesta. Hän pyrki syöttämään hakkuriin mahdollisimman suuria taakkoja, mistä oli usein seurauksena syöttölaitteen tukkeutuminen. Hakkuutähde on kuitenkin syötettävä niin pieninä taakkoina, että syöttölaite jaksaa kuljettaa taakat hakkurin teriin saakka.

Hakkurin käyttäjän ajankäytön rakenne haketusvaiheen aikana käy ilmi taulukosta 9. Kuormaimen käsittelyyn kului 95 % työajasta.

Haketettaessa rankoja HS-500 HD hakkuutähdehakkurilla rangan keskikoko oli 0,007 m³ ja taakan keskikoko 0,055 m³. Tehoajasta kului 98,5 % haketukseen ja 1,5 % työpistesiirotiin (taulukko 10). Tyhjänäpyörimisaika oli 32 % haketusajasta.

Haketuksen teho- ja tuotantoaikatuookset muodostuivat seuraavan asetelman mukaisiksi. Hakkuutähdehaketukseen verrattuna tuotokset ovat noin 60 % suuremmat.

	Tehoaika-tuotos/h	Tuotantoaika-tuotos/h
Hakkeen kiintotilavuus, m ³	4,4	3,5
Hakkeen irtotilavuus, i-m ³	10,3	8,2
Hakkeen kuivamassa, kg	2160	1720

73. Hakkeen palakokojakauma

Hakepalojen pituusjakauma määritettiin reikäseula- ja paksuusjakauma rakoseulasarjalla jakeiden tuorepainojen mukaan. Seulontatulokset on esitetty taulukoissa 11 ja 12. Tutkimuksen aikana Hakki palstahakkurin terät oli säädetty 16 mm:n ja HS-500 HD hakkuutähdehakkurin terät 7 mm:n hakepituudelle.

Hakkuutähdehakeessa purumaisen hienojakeen osuus on selvästi suurempi kuin kokopuuhakeessa. Esimerkiksi Hakki palstahakkurilla valmistetussa hakeessa alle 3 mm:n pituisen jakeen osuus on hakkuutähdeessä 9,4 % mutta kokopuuhakeessa vain 1,7 %. Terien säädön ja seulan vuoksi on HS-500 HD hakkuutähdehakkurilla valmistettu hake huomattavasti hienojakoisempaa kuin Hakki palstahakkurilla valmistettu hake.

Merkille pantavaa on tikkujen pieni osuus hakkuutähdehakeessa. Hakki palstahakkurilla valmistetussa hakeessa yli 32 mm:n pituisen jakeen osuus on 4,0 % ja HS-500 HD hakkuutähdehakkurilla ainoastaan 0,1 %. Ylivuotista hakkuutähdettä haketettaessa-

Taulukko 11. Hakki palstahakkurilla ja HS-500 HD hakkuutähdehakkurilla valmistetun hakkeen pituusjakaumat.

Table 11. Length distributions of chips made by the Hakki terrain chipper and the HS-500 HD logging residue chipper.

Jaekoko, mm Size of fraction, mm	Hakki		HS-500 HD	
	Hakkuutähdehake Logging residue chips	Mäntykokopuu-hake Whole-tree pine chips	Hakkuutähdehake Logging residue chips	Rankahake Delimbed stem chips
	Osuus tuorepainosta, % Share in green weight, %			
>32	4,0	7,2	0,1	5,1
32 — 25	5,6	10,0	0,4	8,8
25 — 19	12,3	18,5	1,8	17,0
19 — 13	23,7	29,7	11,4	26,6
13 — 6	34,1	28,7	41,1	27,8
6 — 3	10,9	4,2	24,4	8,1
< 3	9,4	1,7	20,8	6,6
Yhteensä — Total	100,0	100,0	100,0	100,0

sa hakkeen joukkoon näyttää jäävän hyvin vähän polttoaineen syötön kannalta haitallisia pitkiä oksia.

74. Hakkeen irtotilavuusyksikön massa ja hakkeen tiivys

Hakki palstahakkurilla valmistetun hakkuutähdehakkeen irtotilavuusyksikön tuoremassa oli 314 kg/m³ ja kuivamassa 209

Taulukko 12. Hakki palstahakkurilla ja HS-500 HD hakkuutähdehakkurilla valmistetun hakkeen pakkausjakaumat.

Table 12. Thickness distributions of chips made by the Hakki terrain chipper and the HS-500 HD logging residue chipper.

Jaekoko, mm Size of fraction, mm	Hakki		HS-500 HD	
	Hakkuutähdehake Logging residue chips	Mäntykokopuu-hake Whole-tree pine chips	Hakkuutähdehake Logging residue chips	Rankahake Delimbed stem chips
	Osuus tuorepainosta, % Share in green weight, %			
>10	9,1	18,5	1,4	3,4
10 — 8	9,0	13,1	2,7	6,2
8 — 6	15,6	19,5	7,1	14,5
6 — 4	24,1	24,3	15,5	31,9
4 — 2	22,6	15,4	30,3	24,5
< 2	19,6	9,2	43,0	19,5
Yhteensä — Total	100,0	100,0	100,0	100,0

kg/m³. Hakkuutähdehakkeen kuiva-tuoretiheytenä käytettiin 455 kg/m³ (Hakkila 1978), jolloin hakkeen tiiviydeksi saatiin 45,9 %. Hakkeen painuma traktorin perävaunussa 30 km:n matkalla oli 4,9 %.

HS-500 HD hakkuutähdehakkurin valmistaman hakkuutähdehakkeen irtotilavuusyksikön tuoremassa oli 302 kg/m³ ja kuivamassa 194 kg/m³. Kiintotilavuusprosentti oli 42,7.

8. HAKETUSTYÖN KUSTANNUKSET

81. Laskennan perusteet

Haketustyön kustannuksia laskettaessa on lähdetty siitä, että kevyellä kalustolla hakkuutähdehakeita voidaan hakettaa vain kesällä, niin että talviaikana haketetaan kokopuuta tai rankaa. Kustannukset on laskettu kahdelle erisuuruudelle vuotuiselle työmäärälle.

Ensimmäinen laskentavaihtoehto perustuu 11 kk:n vuotuisen yksivuorotyöhön. Tästä on hakkuutähdehaketuksen osuudeksi laskettu 3 kk ja kokopuuhaketuksen osuudeksi 8 kk. Ensimmäisen vaihtoehdon vuotuinen työaika on 1890 h.

Toisessa laskentavaihtoehdossa on oletettu, että myöhäiskevällä, kesällä ja varhaiskysällä hakkuria ei pystytä täysin työllistämään. Työajan on laskettu 5 kk:n aikana jäävän puoleen normaalista. Hakkuutähdehaketuksen osuudeksi työajasta on laskettu 2 kk ja kokopuuhaketuksen osuudeksi 6,5 kk. Vuotuinen työaika on tässä vaihtoehdossa 1460 h.

Laskutapa käy ilmi liitteistä 1...3. Kustannuksia laskettaessa on oletettu, että konetta käyttää urakoitsijan palkkaama vieras kuljettaja.

**82. Hakki palstahakkurin, Zetor 8045
Crystal traktorin ja Jyty 2700
kuormaimen muodostama
haketusyksikkö**

Laskentavaihtoehtojen mukaiset käyttö-
tuntikustannukset on esitetty alla olevassa
asetelmassa.

	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2	
	mk/h	%	mk/h	%
Hakkuri + kuormain	53,90	42,9	63,70	45,9
Traktori	30,60	24,4	34,15	24,6
Työkustannukset	41,00	32,7	40,95	29,5
Yhteensä	125,50	100,0	138,80	100,0

Ottamalla huomioon hakkuutähde- ja
kokopuuhaketuksen osuudet vuotuisesta työ-
ajasta sekä niiden keskimääräiset tuotokset,
voidaan laskea haketustyön keskimääräinen
yksikkökustannus. Koska tuotostiedot var-
sinkin välivarastolla tapahtuvasta kokopuu-
haketuksesta ovat puutteelliset, on lasket-
tuja yksikkökustannuksia pidettävä vain
suuntaa antavina.

	Osuus vuotuisesta työajasta, %	Keskimääräinen käyttötunti- tuotos, m ³
Hakkuutähteen palstahaketus	25	1
Kokopuun varastohaketus	75	5

Näillä edellytyksillä saadaan keskimääräi-
seksi vuotuiseksi käyttötuntituotokseksi
4,0 m³, ja haketuksen yksikkökustannukseksi
ensimmäisessä laskentavaihtoehdossa
31,40 mk/m³ ja toisessa vaihtoehdossa
34,70 mk/m³. Pelkän hakkuutähdehake-
tuksen yksikkökustannuksiksi saadaan
125,50...138,80 mk/m³, johon siis sisältyy
myös hakkeen kuljetus varastolle. Vastaa-
vasti välivarastolla tapahtuvan kokopuu-
haketuksen yksikkökustannukset ovat 25,10
...27,75 mk/m³.

Jotta hakkuutähteen haketus Hakki pals-
tahakkurilla olisi tässä laskettujen kustan-
nusten perusteella kannattavaa, olisi sen
tuotosta kyettävä konekehittelyn kautta
nostamaan noin 50 % nykyisestä. Tällöin-
kään ei hakkuutähteestä voida maksaa kan-
tohintaa. Toisaalta mikäli urakoitsija käyt-
tää itse konettaan jäävät yksikkökustannuk-
set edellä laskettuja alhaisemmiksi mm.
pienempien hallinto- ja välillisten palkka-
kustannusten vuoksi.

**83. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin,
Zetor 8045 Crystal traktorin ja
RKP 2600 kuormaimen muodostama
haketusyksikkö**

Käyttötuntikustannukset eri laskentavai-
toehdoissa muodostuivat seuraaviksi:

	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2	
	mk/h	%	mk/h	%
Hakkuri + kuormain	35,90	33,4	42,00	35,8
Traktori	30,60	28,5	34,15	29,2
Työkustannukset	41,00	38,1	40,95	35,0
Yhteensä	107,50	100,0	117,10	100,0

Seuraavan asetelman perusteella voidaan laskea
haketustyön keskimääräinen yksikkökustannus.

	Osuus vuotuisesta työajasta, %	Keskimääräinen käyttötunti- tuotos, m ³
Hakkuutähteen varastohaketus	25	2,5
Kokopuun varastohaketus	75	5,0

Keskimääräiseksi vuotuiseksi käyttötunti-
tuotokseksi saadaan 4,4 m³ ja haketuksen
yksikkökustannukseksi ensimmäisessä vai-
htoehdossa 24,40 mk/m³ ja toisessa vaihto-
ehdossa 26,60 mk/m³. Pelkän hakkuutähde-
haketuksen yksikkökustannuksiksi saadaan
43,00...46,85 mk/m³. Kokopuuhaketuksen
yksikkökustannukset ovat vastaavasti 21,50
...23,40 mk/m³.

Olettamalla, että hakkuutähdehakeesta
saadaan käyttöpaikalle toimitettuna 120
mk/m³ (= 50 mk/i-m³), mikä likimain vas-
taa kokopuuhakeesta maksettavaa hintaa,
voidaan hakkuutähdehaketuksen kannatta-
vuutta HS-500 HD hakkurilla tutkia alla
olevan laskelman avulla (vrt. taulukko 1).

Hakkeen hinta käyttöpaikalle toimitettuna	120 mk/m ³
— hakkuutähteen metsäkuljetus	26 mk/m ³
— hakkuutähteen haketus (laskentavaihtoehto 2)	47 mk/m ³
— hakkeen kaukokuljetus (20 km)	18 mk/m ³
Erotus	29 mk/m³

Erotukseksi jää 29 mk/m³, mitä voidaan
pitää yrittäjätoiminnan pelivarana, johon
sisältyvät muun muassa toiminnan yleis-
kulut. Toisaalta se saattaa mahdollistaa
myös pienen kantohinnan maksamisen met-
sänomistajalle.

9. PÄÄTELMIÄ

Tutkitut hakkurit ovat vasta ensimmäisiä prototyyppejä, joilla tähdätään käyttämättä jäävien hakkuutähteitten polttoainekäyttöön. On aivan luonnollista, että kehitystyön alkuvaiheessa niissä on vielä paljon parannettavaa. Tutkimus osoittaa kuitenkin, että polttihakkeen valmistaminen avohakkuualojen tähteistä on mahdollista myös kevyttä hakkurikalustoa käyttäen.

Hakkuutähteiden syöttäminen helpottuu kun syöttörullien lisäksi käytetään ketjukuljetinta, sillä etenkin oksista on hankala saada säännöllisiä taakkoja, jotka voitaisiin asettaa vaikeuksitta syöttörullien väliin. Rumpuhakkurin suurempi syöttöaukko laikahakkuriin verrattuna on kiistaton etu hakkuutädehaketuksessa. Oikea syöttötekniikka on myös ensiarvoisen tärkeä.

Tutkitut hakkurit poikkesivat toisistaan myös hakkuutähteiden talteensaannon kannalta. Pienten oksien haketus oli Hakki palstahakkurilla niin hankalaa, että osa niistä täytyi jättää hakettamatta. Sen sijaan HS-500 HD hakkuutädehakkurilla voitiin hakettaa myös pieniä epäjärjestyksessä olevia oksia, kunhan ne syötettiin hakkuriin kyllin pieninä taakkoina.

Hakkureita verrattaessa on muistettava,

että HS-500 HD hakkuutädehakkurin käyttö edellyttää erillistä maastokuljetusta. Tämän vuoksi haketuksen yksikkökustannusten on sitä käytettäessä jäätävä pienemmiksi kuin Hakki palstahakkurilla. Vertaamalla edellisessä luvussa laskettuja yksikkökustannuksia todetaan, että HS-500 HD hakkuutädehakkurin varastohaketuksen kustannukset ovat 80...90 mk/m³ alhaisemmat kuin Hakki palstahakkurin yhteenlasketut haketus- ja hakkeen lähikuljetuskustannukset. Tämä kustannusero osoittaa, että kahdesta tutkitusta prototyypistä HS-500 HD hakkuri soveltuu hakkuutähteiden haketukseen paremmin kuin Hakki palstahakkuri. Pienen tuotoksen lisäksi Hakki palstahakkuria rasittaa korkea hankintahinta, minkä vuoksi haketuksen yksikkökustannukset muodostuvat korkeiksi. On kuitenkin muistettava, että tutkittujen prototyypilaitteiden kehitystyö jatkuu, joten esitetyt kustannus- ja tuotostasot eivät jääne lopullisiksi.

Hakkuutähteiden talteenoton tehostamiseksi on tähteiden haketukseen tai murskaukseen soveltuvien laitteiden kehitystyötä jatkettava. Päähuomio tulee tällöin kiinnittää syöttölaitteiston toimivuuteen.

LÄHDELUETTELO

- DEHLE'N, R. & MATTSSON, I.E. 1980 Vad är skogsenergin värd? — Beräkningsmetodik och omföringstal. Skogshögskolan Carpenberg. Nr. 10.
- EERONHEIMO, O. 1981. Metsähakkeen hankinta ja käyttö metsäteollisuudessa. Tilanne keväällä 1980. Summary: Delivery and use of forest chips in forest industry. Situation in spring 1980. *Folia For.* 471:1—24.
- HAKKILA, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 75(1): 1—60.
- 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. *Folia For.* 342:1—38.
- Handbok i Skogsteknologi. 1922. C.E. Fritzes Bokförlag Aktiebolag. Stockholm.
- HARSTELA, P. & TAKALO, S. 1974. Kokeita oksa-raaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta. Summary: Experiments on loading and transportation of branch raw material. *Folia For.* 215:1—11.
- KYTTÄLÄ, T. & LARSSON, M. 1981. Sönderdelning av trädrester med Morgårdshammars skivkross SK 2800 och Bruks-Svedala Arbrå hammarkvarn KHA 12/12. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. *Teknik.* 6/1981:1—8.
- LEHTONEN, I. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuden perustuva tarkastelu. Summary: Wood as fuel. *Folia For.* 293:1—16.
- MELKKO, M. 1975. Hakkuutähteiden koostumus moottorisaha- ja monitoimikonetyömailla. Summary: Composition of logging residues at power-saw and processor work sites. *Metsätehon katsaus* 5/1975:1—4.

- 1976. Hakkuutähteiden metsäkuljetus kuormatraktorilla. Forest haulage of logging residues by forwarder. Metsätehon tiedotus — Metsäteho report 339.
- 1977. TT-Palstahakkuri 1000 F. Metsätehon katsaus 5/1977:1—16.
- MELLSTRÖM, C. & THÖRLIND, M.U. 1981. Skotning av hyggesrester. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Ekonomi 1/1981:1—4.
- MÄKELÄ, M. 1977a. Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen. Summary: Changes in the quality of logging residues. *Folia For.* 309:1—16.
- 1977b. Leimikoittainen metsätähdemäärä. Summary: The amounts of logging residues and stump and root wood at certain work sites. *Folia For.* 316:1—20.
- OLOFSSON, L. 1975. Värmevärdet för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsteknik. Skogshögskolan 90: 1—47.

SUMMARY

At the present rate of logging approx. 20 million m³ of logging residues are left yearly in our forests. In the current market situation of the forest industry they can be included in the potential energy wood reserve. Several biological and technical factors limit the amount of harvestable logging residues to about 3 million m³ per annum, corresponding in fuel value to 0,6 million tons oil equivalent.

The main part of the logging residues consists of branches and only 10...20 % of stemwood. Compared with stemwood with bark to be harvested in final felling, the share of logging residues is 20...30 % for pine and 40...50 % for spruce.

Logging residue chipping differs from whole-tree chipping so much that it requires the development of new equipment in which special attention must be paid to the infeed mechanism. At present, mainly heavy landing chippers and crushers have been developed for the harvesting of logging residues. However, they can be used only at large work sites because of their high capital costs. The suitability of light-weight equipment for the chipping of logging residues was the object of the present study.

Both harvesting schedules based on landing chipping and those based on terrain chipping can be used in the harvesting of logging residues. When landing chipping is used an endeavour must be made to raise the productivity of forest haulage of logging residues. This can be done by enlarging the load space of the tractor and by using a timber grapple suitable for the loading of logging residues.

An advantage of terrain chipping is the elimination of off-road haulage. It is possible at multipurpose machine working sites to chip logging residues directly from bunches formed by the machines, but at working sites which are harvested manually logging residues probably have to be bunched before chipping.

Logging residues have a high fuel value. The high fuel value of branches is due to the abundance of bark and the large lignin and extractives content. The high fuel value of needles is due to their large resin content. It may be a problem, however, to store

logging residue chips containing needles for a long time before use.

For the drying of logging residues and to avoid nutrient losses to the forest soil, the residues should be left spread in the cutting area prior to chipping and off-road haulage. The majority of the nutrient-rich needles are then left in the forest when the residues are allowed to dry during the summer in the cutting area for at least two months.

The productive time output of the prototype of the Hakki terrain chipper studied (color page 1) in the chipping of logging residues was 1,0 m³/h and in the chipping of small-sized whole-trees in the cutting area 2,3 m³/h when the chip haulage distance was 500 m. The low output of logging residue chipping is attributable to the small bunch size and the cumbersome infeed mechanism. The main reason for the latter is the small infeed aperture of the disc chipper.

The cost of a terrain chipping unit per productive time was 125,50...138,80 marks/h, depending on the annual volume of work. When this was divided by the productive hour output of the chipper the unit cost of logging residue chipping came to 125,50...138,80 marks/m³ and that of whole-tree chipping to 25,10...27,75 marks/m³. These sums include both chipping and transport of the chips to the storage.

The productive time output of the prototype of the HS-500 HD logging residue chipper (color page 2) operating at the landing in the chipping of logging residues was 2,7 m³/h and in the chipping of delimited stems 4,4 m³/h. The productive time cost of the chipping unit varied from 107,50 to 117,10 marks/h, depending on the annual volume of work. The unit cost in logging residue chipping was 43,00...46,85 marks/m³ and that of the chipping of delimited stems 21,50...23,40 marks/m³. These sums apply only to chipping at a landing and exclude forest haulage. The basic structure of the HS-500 HD chipper makes it fairly suitable for the chipping of logging residues. In addition to its fairly large infeed aperture it has the advantage of an infeed device that lends itself well to logging residues.

LIITE 1. Hakki palstahakkurin ja Jyty 2700 kuormaimen käyttötuntikustannuslaskelma

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Edellytykset		
Hankintahinta	195 000 mk	195 000 mk
Työaika	1 890 h/v	1 460 h/v
Käyttöaika (81,5 % työajasta)	1 540 "	1 190 "
Siirtotyöaika (1 h/2 pv)	120 "	90 "
Tuntityöaika (sis. siirtotyöajan)	470 "	360 "
Käyttöikä	7 700 h	5 950 h
Pitoaika	5 v	5 v
Vaseliinin kulutus	10 kg/v	8 kg/v
Hydrauliöljyn kulutus	130 l/v	100 l/v
Vaihtoarvoprosentti	15 %	15 %
Vaihtoarvo	29 250 mk	29 250 mk
Poistoarvo	165 750 mk	165 750 mk
Työkustannukset (palkkausryhmä c, palkkausalue 4)		
Urakkapalkka 21,34 mk/h	32 863,60 mk/v	25 394,60 mk/v
Tuntityöpalkka 17,07 mk/h	8 022,90 "	6 145,20 "
Likaisentyönliä 0,99 mk/h	207,90 "	160,38 "
Kylmäasennusliä 1,16 mk/h	121,80 "	93,96 "
Välilliset palkkakustannukset (46 % palkoista)	18 959,45 "	14 625,30 "
Yhteensä	60 175,65 "	46 419,44 "
Muut muuttuvat kustannukset		
Vaseliini 12 mk/kg	120,00 "	96,00 "
Hydrauliöljy 7,10 mk/l	923,00 "	710,00 "
Korjaus ja huolto (5 % hankintahinnasta)	9 700,00 "	6 800,00 "
Terät	2 960,00 "	2 080,00 "
Kulkemiskorvaus 0,93 mk/km		
10 000 km/v	9 300,00 "	
8 000 km/v		7 440,00 "
Yhteensä	23 003,00 "	17 126,00 "
Kiinteät kustannukset		
Pääoman poisto	33 150,00 "	33 150,00 "
Pääoman korko 11 %	14 157,00 "	14 157,00 "
Palovakuutus 8 ‰/∞ hankintahinnasta	1 560,00 "	1 560,00 "
Vastuuvakuutus	500,00 "	500,00 "
Hallintokustannukset		
— Oman auton käyttö 0,93 mk/km		
5 000 km/v	4 650,00 "	
4 000 km/v		3 720,00 "
— Yleiskustannukset	2 000,00 "	2 000,00 "
Yhteensä	56 017,00 "	55 087,00 "
Toimintaylijäämä 5 %	6 959,78 "	5 931,62 "
Kokonaiskustannukset		
Kustannukset yhteensä	146 155,45 mk/v	124 564,06 mk/v
Käyttötuntikustannus	94,91 mk/h	104,68 mk/h

LIITE 2. HS-500 HD hakkuutähdehakkurin ja RKP 2600 kuormaimen käyttötuntikustannuslaskelma.

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Edellytykset		
Hankintahinta	110 000 mk	110 000 mk
Työaika	1 890 h/v	1 460 h/v
Käyttöaika (81,5 % työajasta)	1 540 "	1 190 "
Siirtotyöaika (1 h/2 pv)	120 "	90 "
Tuntityöaika (sis. siirtotyöajan)	470 "	360 "
Käyttöikä	7 700 h	5 950 "
Pitoaika	5 v	5 v
Vaseliinin kulutus	10 kg/v	8 kg/v
Hydrauliöljyn kulutus	50 l/v	40 l/v
Vaihtoarvoprosentti	15 %	15 %
Vaihtoarvo	16 500 mk	16 500 mk
Poistoarvo	93 500 "	93 500 "
Työkustannukset (palkkausryhmä c, palkkausalue 4)		
Yhteensä (ks. liite 1)	60 175,65 mk/v	46 419,44 mk/v
Muut muuttuvat kustannukset		
Vaseliini 12 mk/kg	120,00 mk/v	96,00 mk/v
Hydrauliöljy 7,10 mk/l	355,00 "	284,00 "
Korjaus ja huolto (5 % hankintahinnasta)	5 500,00 "	4 200,00 "
Terät	2 560,00 "	1 790,00 "
Kulkemiskorvaus 0,93 mk/km		
10 000 km/v	9 300,00 "	
8 000 km/v		7 440,00 "
Yhteensä	17 835,00 "	13 810,00 "
Kiinteät kustannukset		
Pääoman poisto	18 700,00 mk/v	18 700,00 mk/v
Pääoman korko 11 %	7 986,00 "	7 986,00 "
Palovakuutus 8 ‰ hankintahinnasta	880,00 "	880,00 "
Vastuuvakuutus	500,00 mk/v	500,00 mk/v
Hallintokustannukset		
— Oman auton käyttö 0,93 mk/km		
5 000 km/v	4 650,00 "	
4 000 km/v		3 720,00 "
— Yleiskustannukset	2 000,00 "	2 000,00 "
Yhteensä	34 716,00 "	33 786,00 "
Toimintaylijäämä 5 %	5 636,33 "	4 700,77 "
Kokonaiskustannukset		
Kustannukset yhteensä	118 362,98 "	98 716,21 "
Käyttötuntikustannus	76,86 mk/h	82,95 mk/h

LIITE 3. Zetor 8045 Crystal traktorin käyttötuntikustannuslaskelma

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Edellytykset		
Hankintahinta	88 000 mk	88 000 mk
Käyttöikä	7 700 h	5 950 h
Pitoaika	5 v	5 v
Polttoaineen kulutus	8 l/h	8 l/h
Voiteluöljyn kulutus	0,06 l/h	0,06 l/h
Hydrauliöljyn kulutus	0,03 l/h	0,03 l/h
Vaseliinin kulutus	0,004 kg/h	0,004 kg/h
Vaihtoarvoprosentti	30 %	32 %
Vaihtoarvo	26 400 mk	28 160 mk
Poistoarvo	61 600 mk	59 840 mk
Muuttuvat kustannukset		
Polttoaine 1,48 mk/l	19 654,40 mk/v	15 155,20 mk/v
Voiteluöljy 5,80 mk/l	577,68 "	445,44 "
Hydrauliöljy 7,10 mk/l	353,58 "	272,64 "
Vaseliini 12 mk/kg	79,68 "	61,44 "
Korjaus ja huolto	4 000,00 "	2 800,00 "
Yhteensä	24 665,34 "	18 734,72 "
Kiinteät kustannukset		
Pääoman poisto	12 320,00 "	11 970,00 "
Pääoman korko 11 %	6 970,00 "	7 050,00 "
Palovakuutus 8 ‰ _{oo} hankintahinnasta	704,00 "	704,00 "
Liikennevakuutus	250,00 "	250,00 "
Yhteensä	20 244,00 "	19 974,00 "
Toimintaylijäämä 5 %	2 245,47 "	1 935,44 "
Kokonaiskustannukset		
Kustannukset yhteensä	47 154,80 mk/v	40 604,16 mk/v
Käyttötuntikustannus	30,60 mk/h	34,15 mk/h

ODC 363.7
ISBN 951-40-0549-X
ISSN 0015-5543

RANTAMAULA, J. 1981. Hakkuutiähteiden haketus kevyellä kalustolla. Summary: Chipping logging residues with light-weight equipment. Folia For. 498:1—24.

Study examines the suitability of light-weight equipment for the chipping of logging residues. The objects of the study were the prototypes of the Hakki terrain chipper and the HS-500 HD landing chipper. It is concluded that chipping of logging residues is also possible with light-weight equipment.

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

ODC 363.7
ISBN 951-40-0549-X
ISSN 0015-5543

RANTAMAULA, J. 1981. Hakkuutiähteiden haketus kevyellä kalustolla. Summary: Chipping logging residues with light-weight equipment. Folia For. 498:1—24.

Study examines the suitability of light-weight equipment for the chipping of logging residues. The objects of the study were the prototypes of the Hakki terrain chipper and the HS-500 HD landing chipper. It is concluded that chipping of logging residues is also possible with light-weight equipment.

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

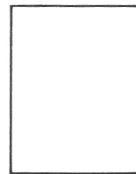
Tilaan kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please, send me following publications (add numbers of the publications on the backside of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoeasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 142

Ojajoen koeasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 311

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 474 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa.
Stand damage in thinning operations.
- No 475 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1980.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1980.
- No 476 Jalkanen, Risto: Harmaakariste männyllä. Kirjallisuuskatsaus.
Lophodermella sulcigena on pines. A literature review.
- No 477 Veijalainen, Heikki: Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla.
Long-term responses of Scots pine to micronutrient fertilization on acid peat soil.
- No 478 Kellomäki, Seppo & Tuimala, Aili: Puuston tiheyden vaikutus puiden oksikkuuteen taimikko- ja riukuvaiheen männiköissä.
Effect of stand density on branchiness of young Scots pines.
- No 479 Saramäki, Jussi & Valtanen, Eila: Toistuvan typpilannoituksen vaikutus nuoren metsikön rakenteeseen ja kehitykseen.
The effect of repeated nitrogen fertilization on the structure and development of the young pine and spruce stands.
- No 480 Hovila, Pekka: TT 1000 TU ja TT 1000 TS kokopuuhaakurit.
TT 1000 TU and TT 1000 TS whole-tree chippers.
- No 481 Moilanen, Mikko & Issakainen, Jorma: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräällä Kainuun vaara-alueen paksuturpeilla soilla.
Effect of fertilization and soil preparation on the regeneration of birch and spruce on thick peat soils in Kainuu.
- No 482 Lipas, Erkki: Faktoriaalisen lannoituskokeen tulosten tulkinta.
Interpretation of the results from factorial fertilization experiments.
- No 483 Salminen, Sakari: Vuosien 1971—75 valtakunnallisia metsävaratietoja karttamuodossa.
A cartographic presentation of forest resources in Finland 1971—75.
- No 484 Aarne, Martti: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat 1979.
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1979 by districts.
- No 485 Kurkela, Timo: Versosyöpä (*Gremmeniella abietina*) riukuasteen männiköissä.
Canker and die-back of Scots pine at precommercial stage caused by *Gremmeniella abietina*.
- No 486 Oikarinen, Matti & Pyykkönen, Juhani: Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjanmaalla.
The effect of thinning and fertilization on the growth of pubescent birch (*Betula pubescens*) on drained Myrtillus spruce swamp in Ostrobothnia.
- No 487 Löyttyniemi, Kari: Typpilannoituksen ja neulasten ravinnepitoisuuden vaikutus hirven mäntyraivon valintaan.
Nitrogen fertilization and nutrient contents in Scots pine in relation to the browsing preference by moose (*Alces alces*).
- No 488 Juslin, Heikki, Leinonen, Matti & Lonkila, Markku: Omat myyntikonttorit mekaanisen metsäteollisuuden vientimarkkinointikanavien kehitysvaihtoehtona.
Sales offices as an alternative of developing the export marketing channels of Finnish mechanical wood industry.
- No 489 Kellomäki, Seppo: Mäntysahatukien laadun ja sydänpuuosuuden yhteys tukin ulkosiin tunnuksiin.
Quality of pine logs and proportion of heartwood as related to properties of the logs.
- No 490 Hyppönen, Mikko: Kantohintojen alueittaiset muutokset Pohjois-Suomessa.
Stumpage price changes in northern Finland by districts.
- No 491 Salo, Esko & Vuorivirta, Juha: Yksityismetsien raakapuun hakkuu-, luovutusmittaus- ja toimitustavat vuosina 1974—76.
Cutting, delivery and measurement methods of roundwood in private forests in Finland in 1974—76.
- No 492 Teivainen, Terttu, Kananen, Aino & Kuhlman, Eeva: Vesimyyrän aiheuttamat tuhot männyn siemenviljelmillä Keski-Suomessa vuonna 1979/80.
Water vole (*Arvicola terrestris*) damage in Scots pine seed orchards in Central Finland during 1979/80.
- No 493 Ferm, Ari & Sepponen, Pentti: Aurusjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana.
Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years.
- No 494 Vanhanen, Heidi & Pajunen, Leevi: Metsurin työvälinekustannukset 1980.
Forest workers' equipment costs in Finland in 1980.
- No 495 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1979—81.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1979—81.
- No 496 Heikka, Timo & Piirainen, Kimmo: Pienhakkureiden voimankäyttö.
Power consumption of small chippers.
- No 497 Heikkilä, Risto: Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa.
Damage in Scots pine plantations in northern Finland.
- No 498 Rantamäki, Jari: Hakkuutähteiden haketus kevyellä kalustolla.
Chipping logging residues with light-weight equipment.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.
Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.