

FOLIA FORESTALIA 467

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1981

PENTTI HAKKILA JA
HANNU KALAJA

KOPO PALAHAKEJÄRJESTELMÄ

KOPO BLOCK CHIP SYSTEM



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 koemasella. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja neljä 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 four strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 467

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1981

Pentti Hakkila ja Hannu Kalaja

KOPO PALAHAKEJÄRJESTELMÄ

KOPO block chip system

ODC 363.7:831.1:331
ISBN 951-40-0512-0
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. & KALAJA, H. 1981. KOPO palahakejärjestelmä. Summary: KOPO block chip system. *Folia For.* 467:1—24.

Palahake tarjoaa uuden vaihtoehdon maatilojen ja pientalojen polttoaineeksi. Palahake on tavanomaiseen hienohakkeeseen verrattuna mitoiltaan oleellisesti karkeampaa. Tässä tutkimuksessa palahakkeen pituus oli keskimäärin 50—60 mm, leveys 43 mm ja paksuus 8,7 mm.

Palahakkeen tiiviys on ennen kuljetusta 0,39. Palahakkeen irtokuutiometrissä on koivulla 180 ja lepällä 145 kg kuiva-ainetta. Irtokuutiometrin energiasisältö on rasissa kuivuneella puulla vastaavasti 885 ja 700 kWh. Kuivuminen näyttää tapahtuvan hieman nopeammin kuin tavanomaisessa hakkeessa, mutta erot eivät ole suuria.

Palahake valmistetaan karsimattomista tai karsituista pienikokoisista puista maataloustraktorikäyttöisellä KOPO PH-10 kartioruuvihakkurilla, jonka syöttö tapahtuu käsin. Voimantarve on kohtuullinen, pelkän haketuksen osalta 1,1 kWh/m³.

Palahakkeen käyttäjät täyttävät kattilan lähes poikkeuksetta käsityökaluin. Erikoisrakenteinen KOPO UM-10 mäntäsyötin mahdollistaa myös automaattisen syötön. Polttovaiheessa suuri palakoko on ainakin alapalokattilassa yleensä eduksi. Palakoon merkitys riippuu kuitenkin kattilan rakenteesta ja on joka tapauksessa selvästi pienempi kuin esimerkiksi kosteuden vaikutus.

Käyttäjien kokemukset palahakejärjestelmästä ovat yleensä myönteisiä ja rohkaisevia. Useat maatilat ovat jo valinneet palahakkeen polttoaineekseen, mutta järjestelmän kehittämiseen on kiinnitettävä edelleen huomiota.

Block chips offer a new alternative as fuel for farms and low-rise houses. Compared with conventional fine chips block chips are essentially cruder in dimension. The average length of block chips in the present study was 50—60 mm, width 43 mm and thickness 8,7 mm.

The solid volume content of block chips before transport was 0,39. One loose cubic metre of block chips had 180 kg of dry matter in birch and 145 kg in alder. The energy content of a loose cubic metre of leaf-seasoned wood is, correspondingly, 885 and 700 kWh. Drying appears to occur slightly faster than in ordinary chips, but the differences are not great.

Block chips are prepared by a farm tractor-driven KOPO PH-10 spiral screw chipper from small-sized trees either not delimited or delimited. The chipper is fed manually. Its energy requirement is moderate, 1,1 kWh/m³ just for chipping. As a result of the light weight of the spiral screw the torque tends to be higher than with the regular farm tractor-driven chippers.

Users of block chips fill the boiler almost without exception with manual tools. The specially constructed KOPO UM-10 piston feeder makes automatic feeding possible. The large particle size is generally useful in the burning phase, at least in an under-grate boiler. The significance of particle size depends, however, on the design of the boiler and is in any case distinctly smaller than, for instance, the effect of moisture content of chips.

Users' experience of the block chip method is generally positive and encouraging. About 200 farms have already chosen block chips as their fuel.

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitos käynnisti keväällä 1978 puun energiakäyttöä tutkivan PERA-projektin, jonka tavoitteena on polttopuureserviemme hyödyntäminen. Tämä edellyttää pien- ja jätepuun korjuumenetelmien kehittämistä. Keskeisessä asemassa on hakemene- telmä, jonka eräs ratkaisumalli perustuu niin sanottuun palahakkeeseen.

Palahakejärjestelmää koskeva osaprojekti, jota tässä julkaisussa kuvataan, on luonteeltaan toisaalta kone- ja menetelmäkehittä- lyä ja toisaalta varsinaista tutkimusta. Ohjelma on toteutettu kehitystyön alkuvaiheista lähtien kitkattomassa yhteistyössä KOPO- Konepohja Oy:n kanssa. Erityisesti on mainittava palahakkurin keksijä Pasi Kylmänen.

Tutkimus on tehty osaksi Keskusosuusliike Hankkijan hallintoneuvoston Metsäntutkimuslaitokselle myöntämän määrärahan turvin. Keskusosuusliike Hankkijan juhla- vuoden energiataloitten merkeissä annettu rahallinen ja tekninen apu kenttäkokeita toteutettaessa mahdollisti palahakejärjestelmään kohdistuvan tutkimuksen toteuttamisen sen täydessä laajuudessa ja läheisesti käytäntöön kytkettynä. Erityisesti on mainittava projektipäällikkö Sakari Vapaakallio ja tuotekehittelypäällikkö Mauri Ylisen panos työn suunnittelussa ja käytännön järjestelyissä. Kenttäkokeissa saatiin arvokasta apua myös maanviljelijä Timo Lalahdelta.

Haketustutkimusten aineiston keräsivät työnjohtajat Tapio Nevalainen ja Erkki Salo sekä tutkimusapulaiset Jukka Hakki ja Veikko Salo. Dipl. ins. Kimmo Piirainen ja metsät. yo. Timo Heikka suorittivat palahakkurin tehon- tarvetta koskevat mittaukset. Tri Pentti Nisula luovutti palahakkeen kuivumiseen liittyvää julkaisematonta tutkimusai- neistoa allekirjoittaneitten käyttöön.

Palahakkeen jalostuskäyttömahdollisuuksia selvittelevä puhdistuskoe tehtiin Enso-Gutzeit Osakeyhtiössä dipl. ins. Aaro Alestalon johdolla.

Konekirjoitustyön tekivät rouva Aune Rytönen ja neiti Raija Siekkinen. Toisen värikuvasivun oikeanpuoleisen alakuvan otti Teollisuuskuvaamo Mannelin Ky ja muut värikuvat valokuvaaja Matti Ruotsalainen. Piirrookset teki rouva Leena Muronranta. Käsikirjoituksen ovat lukeneet prof. Matti Kärrkkinen ja tri Pentti Nisula.

Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille työssä mukana olleille, erityisesti myös niille 121 palahakkurin omistajalle, jotka ystävällisesti osallistuivat palahakejärjestelmään kohdistuneeseen kyselytutkimukseen syksylä 1980.

Helsingissä helmikuussa 1981

Pentti Hakki

Hannu Kalaja

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	5
2. TUTKIMUSAINEISTO	5
3. PALAHAKKEEN TEKO	6
31. KOPO palahakkurin rakenne ja toimintaperiaate	6
32. Työmenetelmät	8
33. Haketustyön tuotos	9
34. Voiman käyttö	11
4. PALAHAKKEEN OMINAISUUDET	13
41. Palakoko	13
42. Kuivuminen	14
43. Paino, tiiviys ja lämpöarvo	16
44. Kuoren erottaminen	17
5. PALAHAKKEEN POLTTO	18
51. Syöttö kattilaan	18
52. Palaminen	19
6. KÄYTTÄJIEN KOKEMUKSIA	21
KIRJALLISUUS	24

1. JOHDANTO

Valtioneuvoston vuonna 1979 asettama energiapoliittinen tavoite edellyttää vuosittaisen polttopuun käytön kasvavan 5—11 milj. m³:llä, josta pääosa on saatavissa markkinakelvottomasta pienpuusta ja metsätähteestä. Maamme 250 000 maatilan panos tulee olemaan keskeinen saatettaessa tämä kotimainen energiareservi öljyä korvaavaan polttoainekäyttöön. Taloudellisesti edullisinta lämmitysöljyn korvaaminen puulla on nimenomaan mautiloilla, joilla polttopuun kustannuksia alentavat muihin käyttäjiin verrattuna kaukokuljetuksen puuttuminen, mahdollisuus käyttää korjuussa maataloutta varten hankittua traktorikalustoa sekä verotekniset tekijät. Maatilametsissä syntyy pien- ja jätepuuta kuitenkin paljon enemmän kuin omassa käytössä tarvitaan, niin että pääosa polttopuusta olisi toimitettava maatilatalouden ulkopuoliseen käyttöön.

Polttopuu tehdään pääasiassa teollisuuden vähimmäismittoja pienemmästä runko- ja oksapuusta. Tällainen puu saadaan tehokkaimmin talteen hakkeena. Kun hakkeen etuna on lisäksi mahdollisuus polttoaineen käsittelyn automatisointiin, kiinnostus hakelämmitystä kohtaan on kasvamassa nopeasti. Tällä hetkellä kuitenkin vasta 1—2 % mautilojen polttopuusta käytetään hakemuotoisena (R y y n ä n e n 1980).

Maataloustraktorikäyttöisten kevyitten hakkureitten kehitystyö alkoi pitkän pysähdysvaiheen jälkeen jälleen vauhdittua 1970-

luvun loppupuoliskolla. Useat yrittäjät ryhtyivät energian hinnan kohoamisen myötä valmistamaan maatilakäyttöön tarkoitettuja laikka- ja rumpuhakkureita, mutta niitten rinnalle syntyi myös toimintaperiaatteeltaan aivan uusia vaihtoehtoja.

Tällainen laajaa koti- ja ulkomaista kiinnostusta herättänyt uusi ratkaisu on KOPO PH-10 palahakkuri, jonka työskentely perustuu leikkaavien veitsimäisten terien sijasta ruuvien tavoin toimivaan kartioteraan. Sen valmistamaa pilkelmäistä tuotetta, joka on oleellisesti karkeampaa kuin tavanomainen hake, kutsutaan palahakkeeksi (väräkuvasivu 2).

Käsillä olevassa koko palahakejärjestelmään kohdistuvassa työssä selvitetään palahakkeen valmistamista sekä sen käyttäytymistä varastoitaessa, syötettäessä ja poltettaessa. Tehtävänasettelu on seuraava:

- KOPO PH-10 palahakkurin työtekniikan ja korjuuketjujen kehittäminen.
- Palahakkurin työn tuotoksen ja energiantarpeen selvittäminen.
- Palahakkeen polttoainetulojen selvittäminen.
- Palahakkeen automaattisen syötön tutkiminen KOPO UM-10 mäntäsyötintä käyttäen.
- Palahakkeen käyttäjien kokemusten kartoittaminen.
- Palahakkeen kuorimismahdollisuuksien tutkiminen teollisuuskäyttöä silmällä pitäen.

2. TUTKIMUSAINEISTO

Tutkimusaineisto on kerätty vuosina 1979 ja 1980 polttopuun korjuuta ja käyttöä kehittävä PERA-projektin työohjelman puitteissa yhteistyössä Keskusosuusliike Hankkijan ja KOPO-Konepohja Oy:n kanssa. Koska työ on ollut luonteeltaan suurena määrinä kone- ja menetelmäkehittelyä, osa mittauksista ja aineistoista on vanhentunut ohjelman edistymisen myötä. Tässä julkaisussa mainitaan vain ne osa-aineistot, joista tehdyt mittaukset ja havainnot edustavat palahakejärjestelmää sen nykymuodossa.

Haketustyön tuotosta (luku 33) koskevat aikatutkimukset tehtiin 3.1.—10.10.1980 Vihdissä Laalahden tilalla. Palahakkurin käyttökoneena oli teholtaan 34

kW:n MF-35 traktori. Tutkimuksen neljä vaihtoehtoista työmenetelmää samoin kuin niissä käsitellyt puutaralajit on kuvattu luvussa 33. Hakkeen määrä eri kokeissa oli seuraava:

Koe	Menetelmä	Palahakkeen määrä	
		i-m ³	i-m ³
1	Kokopuun palstahaketus kesällä	23,5	9,2
2	Kokopuun palstahaketus talvella	26,6	10,4
3	Kokopuun varastohaketus kesällä	44,7	17,4
4	2-m rangan varastohaketus kesällä	62,4	24,3

Voiman käyttöä, tehon tarvetta ja vääntömomenttia (luku 34) koskevat mittaukset tehtiin joulukuussa 1980 Helsingin yliopiston metsäharjoitteluasemalla Hyttiälässä. Palahakkurin käyttökoneena oli teholtaan 36 kW:n Valmet 502 maataloustraktori. Mittauksissa käytettiin seuraavaa laitteistoa:

- vääntömomentianturi HBM T30FN
- mittavahvistinsarja HBM MD.N.MZ.D8
- Metsäntutkimuslaitoksessa rakennettu elektroninen huippuarvonilmaisin
- FM-konvertteri Danica FAC 1b
- nauhuri Stellavox SP 7

Haketettu puutavara oli jäätynyttä leppärankaa, joka oli lajiteltu tutkimusta varten rinnankorkeusläpimitan perusteella kolmeen eri kokoluokkaan: alle 5 cm, 5—10 cm ja 10—15 cm.

Palakoko (luku 41) määritettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston laboratoriossa Williams rako- ja reikäseulasarjoilla. Seulontanäytteitä, jotka olivat kooltaan 20 dm³, käsiteltiin kaikkiaan 14 kappaletta.

Palahakkeen kuivumista (luku 42) tutkittiin kesällä 1979 Vihdissä katetussa varastosuojassa, jossa seurattiin 12 viikon ajan kylmäilmakuivatuksen vaikutusta palahakkeen ja hienohakkeen kuivumiseen 32 i-m³:n kasalla. Kuivumisen edistymistä tarkkailtiin määrävällein otettujen kosteusnäytteitten avulla.

Edellisen lisäksi seurattiin tuoreen pala- ja hienohakkeen kuivumista huonelämpöisessä kellarivarastossa 15 viikon ajan yhden kuutiometrin suuruisissa ilmassa lautalaatikoissa. Laatikat punnittiin viikoittain dynamometrillä. Tri Pentti Nisula antoi lisäksi tässä yhteydessä käytettäväksi tuloksia samanaikaisista laboratoriokeista, joissa verrattiin palahakkeen ja hienohakkeen kuivumista huonelämpöisen ilmavirtauksen vaikutuksesta.

Palahakkeen paino ja tiiviyys (luku 43) määritettiin Vihdin tuotostutkimusten yhteydessä kaikkiaan 7 hake-erästä. Kussakin tapauksessa mitattiin hakekuorman irtotilavuus traktorin säiliössä tai peräkärjessä ennen kuljetusta sekä kuorman tuorepaino autovaa'alla punnitsemalla. Tuorepainot muunnettiin kuivapainoiksi kosteusnäytteitten avulla. Palahakkeen tiivyyden laske- miseksi kuivapainot muunnettiin kiintokuutiometreiksi olettamalla pienpuun puuaineen kuivatuoretiheydeksi koivulla 460, lepällä 370 ja havupuulla 385 kg/m³ (vrt. Kanninen, Uusvaara ja Valonen 1979).

Palahakkeen lämpöarvo (luku 43) laskettiin toisaalta edellä mainittujen painoa ja tiiviyttä koskeneitten mittausten sekä toisaalta eri pienpuulajien kiintokuutiometrin lämpöarvon perusteella (vrt. Olofs-son 1975, Hakkiila 1978).

Kuoren erottumista (luku 44) tutkittiin 4.12.1979 Enso-Gutzeit Osakeyhtiön Kaukopaän metsähakkeen- puhdistuslaitoksella Imatralla kuularumpunen- etelmällä. Tutkimuksen kohteena oli tuore ensiharven- nuksen kokopuuhaake, jonka kuoripitoisuus ja pala- kokojakauma määritettiin laboratoriotyönä seulonta- näytteistä ennen ja jälkeen rumpukäsittelyn. Koeajon palahake-erä oli kooltaan noin 25 i-m³. Hakenäytteitä analysiottiin kaikkiaan 8 kappaletta.

Palahakkeen poltto-ominaisuuksia (luku 5) selvitettiin toisaalta käyttäjille osoitetulla kyselytutkimuksella sekä toisaalta automaattisen KOPO UM-10 mäntä- syöttölaitteen koeajoilla Oulussa. Syöttölaitteen koe- käytössä ajettiin erikseen sahanpurua, hienohaketta sekä ranka- ja kokopuuhaaketta yhteensä 8 tunnin ajan. Varsinaisten polttokokeitten osalta on käytetty hyväksi Työtehosuora ry:n aikaisemmin julkaisemia tuloksia (vrt. Tuomi 1980).

Käyttäjien kokemuksia (luku 6) kartoitettiin kysely- tutkimuksella, joka osoitettiin Keskusosuusliike Hank- kijan luovuttamien osoiteluetteloitten perusteella 194 palahakkurin omistajalle. Kaavakkeessa, jonka palautti 121 vastaajaa, oli vaihtoehtokysymyksiä seuraavista aihe- piireistä.

- Palahakkurin hankintapäätökseen vaikuttaneet tekijät
- Palahakkeen käyttömäärä ja -tarkoitus
- Palahakkeen raaka-aine
- Palahakkeen tekomenetelmät
- Palahakkeen varastointi
- Palahakkeen käsittely ja poltto
- Mahdolliset parannusehdotukset

Kyselytutkimuksen tuloksista osa on sisällytetty vastaaviin asiakohtiin luvuissa 3—5 sekä osa käyttäjien kokemuksia kuvaavaan lukuun 6. Koska eräät kysymykset olivat luonteeltaan sellaisia, että vastaaja saattoi hyväksyä samanaikaisesti useamman kuin yhden vaihtoehdon, vastausten summa on muutamissa luvun 6 asetelmissa suurempi kuin vastaajien lukumäärä. Hakkurin omistajien tekemät parannusehdotukset on saatettu KOPO-Konepohja Oy:n tietoon, ja joitakin niistä on jo voitu ottaa koneen kehittämissä huomioon.

3. PALAHAKKEEN TEKO

31. KOPO palahakkurin rakenne ja toimintaperiaate

Kartioruuvien käyttöä puun pilkkomiseen kokeili ensimmäisenä North Central Forest Experiment Station Michiganissa Yhdysvalloissa. Alkuperäisenä tavoitteena oli pituudeltaan 5—8 cm:n ja poikkileikkaukseltaan alle 2,5 × 2,5 cm:n palahakkeen valmistaminen pien- ja jätepuusta rakennelastule-

vyjen raaka-aineeksi. Kiinteällä laboratorio-prototyypillä tehdyt kokeet olivat rohkaisevia, mutta ne eivät johtaneet käytännön työhön soveltuvan laitteen rakentamiseen. Kokeista tehtiin muun muassa seuraavat joh- topäätökset (Ericsson 1976):

- Kartioruuviterällä tehdyn palahakkeen pituus- jakauma on tasainen. Purumaisen hienojakeen osuus jää hyvin vähäiseksi.
- Kartioruuviterän voimantarve on varsin kohtuul- linen.

- Tukkeumien estämiseksi ja kitkan vähentämiseksi ruuvien kierteen nousun tulee olla kasvava.
- Kartioruuvilta vaadittavan kovuuden ja lujuuden saavuttaminen sekä vääntyilemisen estäminen edellyttävät korkealaatuisia terässeosta ja huolellista valmistustekniikkaa.

North Central Forest Experiment Station aikaisempaa kehitystyötä tuntematta suomalainen maanviljelysteknikko Pasi K y l m ä n e n rakensi vuonna 1978 käytännön työhön soveltuvan, karkean pilkkeen valmistamiseen tarkoitetun laitteen, jonka toiminta perustuu lihamylyn tavoin pyörivään leikkaavaan kartioruuviin. Oululainen KOPO-Konepohja Oy kehitti laitteen edelleen sarjavalmistukseen vuoden 1979 lopulla KOPO PH-10 palahakkurin nimellä. Laitetta valmistetaan Suomessa yhtiön Oulun tehtailla sekä Ruotsissa yhtiön Haaparannan tehtailla.

Kotimaan markkinoinnista vastaa Keskusosuusliike Hankkija. Palahakkurin myyntihinta on vuoden 1981 alussa 9100 markkaa. Vuoden 1980 päättyessä Suomessa oli käytössä noin 250 palahakkuria.

KOPO-palahakkuri on kevyt käsisyöttöinen kartioruuvipaloittelija (värikuvasivu 1). Sen paino syöttösuppiloineen on kaikkiaan 270 kg. Laite liitetään voimakoneena toimivan maataloustraktorin kolmipistekiinnityk-

seen. Valmistaja ilmoittaa traktorin tehontarpeeksi 20—60 kW.

Palahakkurin leveys, 120 cm, ei ylitä sivusuunnassa miltään osin traktorin leveyttä. Pituussuunnassa sen ulottuvuus kiinnityspisteestä lukien on syöttösuppilon ollessa alhaalla työasennossa 165 cm ja kuljetusasentoon ylös nostettuna 115 cm.

Mikäli palahakkuri halutaan kytkeä traktorin ja peräkärryn väliin, vetoaisan pituutta on lisättävä jatkokappaleella. Suoraan takaa 60 cm:n etäisyydellä maanpinnasta tapahtuva syöttö edellyttää peräkärryn kääntämistä traktoriin nähden vinoon linkkuasentoon, mikä vaikeuttaa työskentelyä ajouralla. Vaihtoehtoisesti voidaan palstahaketuksessa käyttää traktorin taakse hakkurin yläpuolel-le kiinnitettävää hakesäiliötä tai menetelmää, jossa kipattava hakesäiliö sijoitetaan traktorin päälle.

Palahakkurissa on vain yksi liikkuva osa, vaaka-akselin varassa pyörivä kovahitsattu kartioruuvi (kuva 1). Voimansiirto palahakkuriin tapahtuu nivelakselin välityksellä. Nivelakseli tulee varustaa levykytkimellä.

Kartioruuvien molemmista päistään laakeroidun akselin läpimitta on 100 mm. Sen ympärille hitsatun kierreraudan harjan korkeus akselin vaipalta on kartion alkupäässä



Kuva 1. KOPO PH-10 palahakkurin kartioruuvi suojakansi avattuna. Nuoli osoittaa ruuvien pureutumisen puuhun.

Figure 1. The spiral screw of the KOPO PH-10 block chipper, shelter cover opened. The arrow shows how the screw cuts into the wood.

10 mm ja takapäässä 160 mm. Takaharjaltaan teroitettun kierreraudan paksuus on 12 mm.

Paloiteltavan puun enimmäisläpimitta, jonka määrää syöttösuppilon 150×180 mm:n nieluaukko, voi olla 150 mm. Puu työnnetään syöttösuppilon läpi koneen akselin suuntaisena kartioruuvien ja sen vastateränä toimivan tukialustan väliin. Taaksepäin paksuuntuvan kartion kierre vetää puun mukaansa lohkon sen samalla palloiksi.

Muodoltaan hakemaiset, pääasiassa 6—12 mm:n paksuiset palaset poistuvat kartioruuvien akselilla olevan heittosiiven sinkoamina putkea pitkin. Täten siis sekä syöttö, paloittelu että palojen heitto perustuvat saman akselin pyörimisliikkeeseen.

32. Työmenetelmät

Koska hakkeen kuivattaminen on palaakoosta riippumatta aina vaikeata, puita tulee kuivattaa mahdollisuuksien mukaan jo ennen haketusta. Kesäaikana tähän voidaan käyttää rasiinkaatoa (katso luku 42).

Toinen vaihtoehto on kuivattaa pienpuu rankakasoilla, mutta silloinkin on syytä käyttää aluksi rasiinkaatoa. Varastomuodostelmien tulee olla aurinkoisella, kuivalla ja tuulille alttiilla paikalla. Aluspuitten tulee olla niin korkeat, että ilma pääsee kiertämään myös pinon alapuolelta. Poikittaiset välipuut edistävät kuivumista. Kasan peittäminen muovilla tai muulla suojalla parantaa kuivumista ja hidastaa puitten vettymistä syksyllä.

Palahakkuriin voidaan syöttää sekä karsimattomia että karsittuja puita. Koska karsiminen lisää tekovaiheen työmenekkiä ja supistaa talteen saatavan polttoaineen määrää, perimmäisenä tavoitteena on karsimattomien kokopuitten hakettaminen. Milloin on kysymyksessä varastohaketus, kokonaisten pienpuitten kuljettaminen haketuspaikalle tuottaa kuitenkin vaikeuksia, mikäli traktoria ei ole varustettu kourakuormaajalla. Syöttäminenkin on kokonaisia puita varastolla käsiteltäessä raskaampaa ja hitaampaa, sillä kasoihin kerätyt puut tarttuvat oksistaan kiinni toisiinsa. Oksat saattavat lisäksi aiheuttaa vaikeuksia hakkeen puhalluksessa ja muussa käsittelyssä. Oksien talteenotto

merkitsee kuitenkin 20—30 %:n polttoainelisiä.

KOPO palahakkuria voidaan käyttää palstalla, välivarastolla tai hakkeen käyttöpaikalla. Työmenetelmät ovat kussakin tapauksessa erilaiset. Ainakin seuraavat vaihtoehdot ovat tarjolla.

1. Palahake puhalletaan ajouralla tai varastolla suoraan peräkärriin, joka on käännettävä traktoriin nähden linkkuasentoon. Varastolla voidaan hake puhalltaa myös irrotettuun peräkärriin (värikuvasivu 1, yläkuva).
2. Palahakkuria käyttävän maatalustraktorin katolle asennetaan $4,5 \text{ m}^3$:n kippattava säiliö, johon hake puhalletaan suoraan palahakkurista (värikuvasivu 1, vasen alakuva). Tämä niin sanottu Laalhti-menetelmä helpottaa ajouralla tapahtuvaa hakettamista, sillä peräkärriin traktori kykenee liikkumaan ja kääntymään kapeillakin urilla. Toinen merkittävä etu on mahdollisuus kipata kuorma suoraan varastoon (värikuvasivu 2), kunhan oviaukko on traktorille riittävän väljä ja korkea. Perästä tapahtuva syöttö on esteetön. Menetelmän käyttö rajoittuu kuitenkin helpokulkuiseen maastoon, sillä traktorin painopiste on korkealla ja vajaa kuorma saattaa liikkua traktorin kallistellessa. Säiliön kippauskorkeus on 2,1 m.
3. Palahakkuri heittää hakkeen suoraan maatalustraktorin perään hakkurin yläpuolelle asennettuun $2,2 \text{ m}^3$:n kippattavaan hakesäiliöön (kuva 2). Menetelmä soveltuu hyvin ajouralla tapahtuvaan työskentelyyn. Edut ja haitat ovat ilmeisesti samat kuin edellisessä vaihtoehdossa. Kuorma painottuu taka-akselille, minkä vuoksi saattaa käydä välttämättömäksi lisätä traktorin eteen vastapaino. Säiliön kippauskorkeus on nostovarsien käyttömahdollisuus huomioon ottaen 2,4—3,0 m.
4. Palahake puhalletaan suoraan latoon, siiloon tai muuhun katettuun varastoon, jolloin vältytään hakkeen välikäsittelyltä (värikuvasivu 1, oikea alakuva). Koska kokonaisten puitten kuljettaminen varastolle edellyttää yleensä traktorin varustamista kourakuormaaimella ja koska oksat aiheuttavat vaikeuksia syötettäessä puita suurilta kasoilta käsin hakkuriin, menetelmää käytetään lähinnä karsittuja rankoja hakettaessa.

Vaihtoehtoisten työmenetelmien keskinäinen edullisuus riippuu leimikko- ja maastotekijöistä, kuljetusmatkoista ja -kalustosta, hakkeen varastointitavasta sekä polttolaitteista. Menetelmä tulee valita järjestelmän kokonaisuutta tarkastellen.

Toisessa ja kolmannessa menetelmässä traktorissa tarvitaan erikoisrakenteiset hakesäiliöt. Muut menetelmät eivät edellytä palahakkuriin lisälaitteita, mutta ne eivät sovellu yhtä joustavasti ajouralla tapahtuvaan työskentelyyn.



Kuva 2. KOPO PH-10 palahakkuri ja sen yläpuolella asennettu kipattava 2,2 m³:n hakesäiliö Valmet 1203 maatalustraktorissa.

Figure 2. KOPO PH-10 block chipper and a tippable 2,2 m³ chip bin mounted on a Valmet 1203 farm tractor.

33. Haketustyön tuotos

Tässä tutkimussarjassa järjestettiin neljä vertailevaa tuotoskoetta. Seuraavassa selvitetään ensiksi varsinaisen haketusvaiheen tuotosta kussakin kokeessa jättäen aluksi hakkurin siirrot ja muut vastaavat työvaiheet huomioon ottamatta. Lopuksi tarkastellaan haketustyön tuotosta kokonaisuudessaan mukaan lukien myös siirrot ja valmistelut.

Ensimmäisessä kokeessa tutkittiin puun koon vaikutusta karsimattoman lehtikokopuun palstahaketuksen tuotokseen kesäoloissa. Työtulos luonnollisesti parani puun koon kasvaessa. Rinnankorkeusläpimitaltaan 5—10 cm:n puilla tuotos oli kaksinkertainen 3—5 cm:n puihin verrattuna, vaikka hakkurin tyhjänäpyörimisaika oli puitten siirtelyvaikeuksista johtuen järeämillä puilla suurempi. Asetelma sisältää siis vain varsinaisen haketusajan ilman valmisteluja ja traktorin siirtymisiä.

	Puun rinnankorkeusläpimitta, cm			
	3—5	5—7	7—9	9—11
Puun koko oksineen, dm ³	7	15	28	53
Tyhjänäpyörimisaika, %	2	4	18	18
Tuotos/tehotunti:				
Runkoja, kpl	654	502	303	180
Haketta, i-m ³	10,9	19,3	21,4	24,0
Haketta, m ³	4,3	7,5	8,3	9,4
Haketta, t kuivana	1,8	3,1	3,4	3,9
Lämpöenergiaa, MWh*	8,7	15,0	16,4	18,8

*Puun kosteus 40 % tuorepainosta; MWh = 1000 kWh

Toinen koe kohdistui karsimattoman lehtikokopuun palstahaketukseen epädullisissa talvioloissa. Puut olivat jäätyneet latvoistaan kiinni maahan ja toisiinsa, mikä vaikeutti työtä. Hakkurin tyhjänäpyörimisaika oli monin verroin suurempi kuin kesäaikana. Työ oli raskasta ja tuotos jäi epätydyttäväksi.

	Yksi syöttäjä	Kaksi syöttäjä
Puun keskikoko, dm ³	6	6
Tyhjänäpyörimisaika, %	27	..
Tuotos/tehotunti:		
Runkoja, kpl	372	537
Haketta, i-m ³	6,0	7,6
Haketta, m ³	2,3	3,0
Haketta, t kuivana	1,0	1,2
Lämpöenergiaa, MWh	4,8	5,8

Koe osoittaa, että kesällä ajouran varten kasattujen kokopuiden hakettamista ei tulisi jättää talveen. Työn vaikeutumisen ohella hakettamisajankohdan lykkäytyminen johtaa myös puun kosteuden kohoamiseen. Talvipalstahaketuksen tulos ei parantunut tyydyttäväksi silloinkaan, kun syöttämässä oli kaksi miestä.

Kolmannessa kokeessa hakettiin kesäaikana välivarastolla karsimatonta lehtikokopuuta ja moottorisahalla karkeasti roiskekarsittua rankaa. Puut oli ajettu suurille välivarastokasoille metsätraktorilla.

Karsimattomien puitten irrottaminen kou-
rakuormaimella tehdyiltä kasoilta oli käsin vaivalloista. Tyhjänäpyörimisajan osuus varsinaisesta haketusajasta muodostui suuremmaksi kuin ajouralla, ja työn tuotos jäi varsin vaatimattomaksi. Roiskekarsinta paransi varastohaketuksen tulosta, mutta tuotos oli kuitenkin edelleen selvästi heikompi kuin ajouralla.

	Koe 3 Karsimaton kokopuu	Koe 3 Roiske- karsittu ranka	Koe 4 Karsittu 2-m ranka
Keskikoko, dm ³	7	18	5
Tyhjänäpyörimisaika, %	13	19	7
Tuotos/tehotunti			
Runkoja, kpl	288	259	1100
Haketta, i-m ³	4,1	11,6	12,5
Haketta, m ³	1,6	4,5	4,9
Haketta, t kuivana	0,7	1,9	2,0
Lämpöenergiaa, MWh	3,4	9,2	9,7

Neljännessä kokeessa hakettiin kaksimetristä sekarankaa välivarastolla. Työ poikkesi muista varastohaketuskoikeista myös siten, että syöttämässä oli kaksi miestä. Haketustulos oli selvästi parempi kuin kokopuulla, mutta tuotos ei ollut merkittävästi korkeampi kuin edellisessä kokeessa roiskekarsitulla rangalla. Suurille kasoille ajettujen pienpuitten välivarastohaketus onnistuu käsin syöttäen parhaiten silloin, kun puut karsitaan ennen hakettamista edes karkeasti.

Työmaa tulee aina järjestää siten, että puita ei tarvitse siirrellä ja käänellä tarpeettomasti. Seuraavat lukusarjat kuvaavat syöttäjän työajan jakaumaa varsinaisessa haketuksessa ajouralla työskennellessä, kun kokopuukat ovat oikean suuntaisina riittävän lähellä uraa.

Työvaihe	Rinnankorkeusläpimitta, cm			
	3—5	5—7	7—9	9—11
	Syöttäjän ajan jakauma, %			
Puun nouto hakkurille	22	38	46	28
Puun syöttö hakkuriin	62	40	30	19
Odotus syötössä	9	10	12	30
Syötön auttaminen	7	12	12	23
Varsinainen haketus yht.	100	100	100	100

Pienimpiä puita käsiteltäessä pääosa miehen työajasta kuluu syöttöön hakkuriin. Toinen aikaavievä työvaihe, puitten noutaminen hakkurille, kasvaa puun koon mukana. Suurilla puilla syöttäjä joutuu usein odottamaan ja auttamaan puun menoa palahakkuriin, jolloin syöttö- ja siirtelyvaiheen osuudet työajasta vastaavasti supistuvat.

Käytännön työssä tuotos riippuu edellä kuvatun haketusvaiheen lisäksi lähinnä kuljetusmatkoista, kuorman koosta sekä hakevaraston järjestelyistä. Seuraava esimerkki kuvaa kokopuitten palstahaketuksen kokonaisajankäyttöä kesäoloissa. Kuljetusmatka on esimerkissä yhteensä 500 m, josta 200 m tapahtuu ajouralla ja loput 300 m tietä pitkin. Varastojärjestelyt on oletettu sellaisiksi, että kuorma voidaan purkaa esteittä.

Työvaihe	Traktorissa 8 m ³ :n peräkärri	Traktorin päällä 4,5 m ³ :n säiliö	Traktorin perässä 2,2 m ³ :n säiliö
	Ajankäyttö, cmin*/i-m ³		
Varsinainen haketus	390	390	390
Siirrot hakettaessa	200	100	100
Kuljetus varastolle	150	300	545
Kuorman purkaminen	40	70	125
Paluu haketuspaikalle	120	240	435
Yhteensä	900	1100	1595
Keskeytykset 15 %	135	165	240
Kokonaisaika	1035	1265	1835

	Tuotos/käyttötunti		
Haketta i-m ³ /h	5,8	4,7	3,3
Haketta m ³ /h	2,3	1,9	1,3
Lämpöenergiaa, MWh/h	4,5	3,7	2,6

*100 cmin vastaa yhtä minuuttia

Esimerkkitapauksessa, jossa matka ajo-
uralta varastolle on 500 m, yli puolet työ-



ajasta kuluu traktorin siirtymisiin. Tästä syystä tuotos riippuu varsin jyrkästi kuorman koosta. Kiintokuutiometreinä mitattu käyttötuntituotos on 8 m^3 :n peräkärryä käytettäessä $2,3 \text{ m}^3$, mutta traktoriin asennettuja säiliöitä käytettäessä niiden pienemmän tilavuuden vuoksi vain $1,9$ tai $1,3 \text{ m}^3$ vastaavasti. Säiliöitten etuna on kuitenkin joustava liikkuminen metsässä kapeilla urilla ja mahdollisesti myös hakevarastorakennuksessa. Ajomatkojen lyhentyessä tuotokset kasvavat, ja menetelmien väliset erot tasoittuvat. Kun kuljetusmatka on pitkä, traktorin säiliö voidaan tyhjentää peräkärryyn, jolla jatkokuljetus sitten tapahtuu. Haketus palstalla traktorin peräkärryyn edellyttää verraten hyvää maastoa.

Varastohaketuksessa tuotos on suurempi kuin palstahaketuksessa, jossa osa työajasta kuluu hakkeen kuljettamiseen metsästä varastolle. Puitten ajo varastolle ja kasalta tapahtuva syöttö edellyttävät usein kuitenkin karsimista metsässä, jolloin puolestaan kaatovaiheen ajankäyttö kasvaa ja oksien puuaines menetetään.

Karsittujen rankojen varastohaketus tulisi pyrkiä järjestämään siten, että hake voidaan puhalttaa suoraan varastoon. Silloin on yhdenkin syöttömiehen mahdollista päästä käytännön työssä rankojen koosta riippuen $7-13 \text{ i-m}^3$:n eli $3-5 \text{ m}^3$:n käyttötuntituotokseen.

Kenttäkokeet osoittavat tuotoksen vaihtelevan suuresti puitten koosta, karsinta-asteesta, sääoloista, traktorin varustuksesta sekä työmenetelmästä riippuen. Työn järjestely ja ajoittaminen kannattaa aina suunnitella huolella.

34. Voiman käyttö

Haketuksen voimankäyttöä ja akseliin kohdistuvaa vääntömomenttia tutkittiin kokeessa, jossa vertailtavina olivat KOPO PH-10 palahakkuri sekä laikkahakkuri, jonka laikan ja vauhtipyörän massa oli yhteensä 235 kg . Palahakkuria käytettiin kahdella kierrosnopeudella; 640 r/min ja 1000 r/min .

Puutavara oli karsittua tuoretta leppärankaa, joka oli vahvasti jäässä. Koerangat jaettiin kolmeen läpimittaluokkaan, jotka kukin käsiteltiin erillisenä aineistona. Seuraava asetelma perustuu Timo Heikan ja Kimmo Piiraisen näissä kokeissa

traktorin voimanottoakselin päästä tekemiin vielä julkaisemattomiin alustaviin mittauksiin.

Rinnankorkeus-läpimitta, cm	Rankakohtainen huippuvääntömomentti keskimäärin, Nm	Energian käyttö, kWh/m ³
KOPO palahakkuri, kierrosnopeus 640 r/min		
1—5	439	1,11
5—10	907	1,02
10—15	1218	1,10
KOPO palahakkuri, kierrosnopeus 1000 r/min		
1—5	170	1,19
5—10	426	1,15
10—15	694	1,18
Vauhtipyörällä varustettu laikkahakkuri, 640 r/min		
1—5	167	1,09
5—10	295	1,09
10—15	590	1,12

Palahakkurin tehontarve luonnollisesti kasvaa puun koon mukana, mutta kun samalla myös haketustyön tuotos kasvaa, energian kokonaiskäyttö hakekuutiometriä kohti pysyy lähes muuttumattomana. Palahakkurin ja vauhtipyörällä varustetun laikkahakkurin erot olivat kokeessa vähäisiä. Palahakkurin energiankäyttöä vähentää suurempi palakoko mutta lisää toisaalta taas puun ja kartioruuvien välinen kitka.

Energian tarve riippuu voimakkaasti puuaineen tiheydestä. Tässä tutkimuksessa tarvittiin lepällä, jonka rungon puuaineen kuiva-tuoretiheys on 360 kg/m^3 , palahakkeen valmistamiseen pelkän haketusvaiheen osalta vain $1,1 \text{ kWh/m}^3$. Se on oleellisesti vähemmän kuin seuraavassa lukusarjassa, joka kuvaa Forest Engineering Laboratoryn prptotyypilaitteen energiankäyttöä palahakkeen teossa (Gardner, Schaffer ja Erickson 1978).

Puulaji	Puuaineen tiheys, kg/m ³	Energian käyttö, kWh/m ³
Lehmus	278—318	2,2
Haapa	343—377	2,2
Kontortamänty	413—466	3,8
Lehtikuusi	492—515	4,0
Punatammi	510—549	4,0
Sokerivaahtera	618—658	6,5

Energian käytön kannalta KOPO PH-10 on siis tehokas. Mainittakoon lisäksi, että palstahaketuskokeessa, missä ajomatka oli

150 m, haketuksen ja 4,5 m³:n hakesäiliöissä tapahtuneen kuljetuksen yhteenlaskettu polttoaineen kulutus oli palahakkeen kiintokuutiometriä kohti 2,2 dm³. Käytetyn polttoaineen energiasisältö oli 1,4 % palahakkeen energiasisällöstä.

Palahakurin omistajat pitivät kyselytutkimuksessa traktorinsa tehoa, joka oli keskimäärin 47 kW, yleensä riittävänä. Vain 4 vastaajaa katsoi traktorinsa tehon liian heikoksi palahaketukseen. Viimeksi mainittujen neljän traktorin teho oli keskimäärin 40 kW.

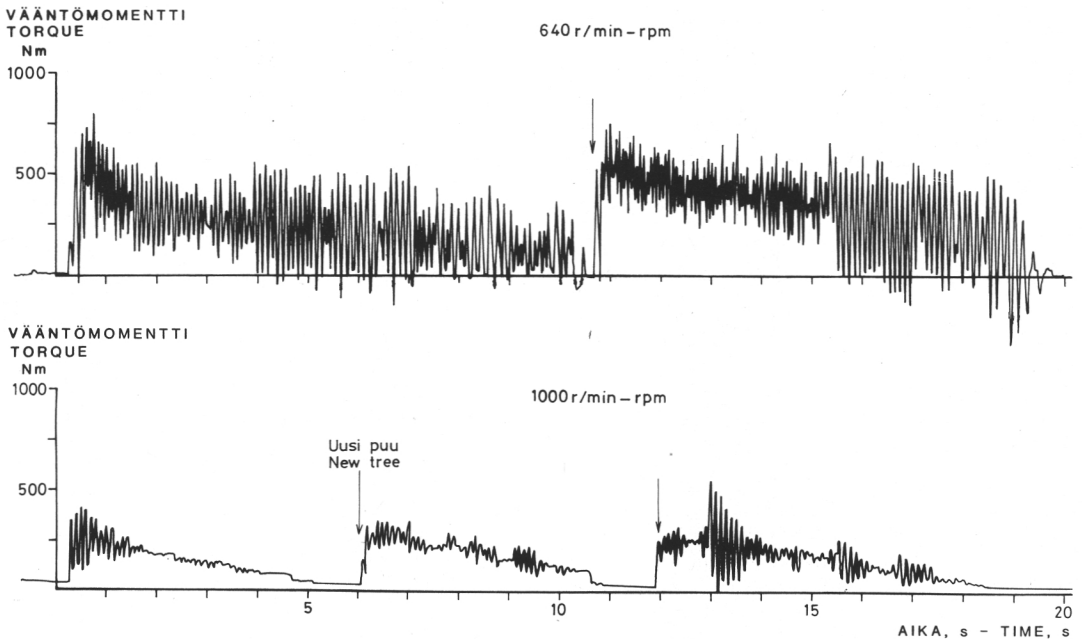
Traktorin teho palahaketuksessa	Vastausten jakauma, %
Hyvä	57
Keskinkertainen	40
Huono	3
Yhteensä	100

Traktorin voimanottoakseliin ja nivelakseliin kohdistuva rasitus on palahaketukses-

sa epätasainen ja kohoaa ajoittain varsin suureksi, kuten sivun 11 asetelma ja kuva 3 osoittavat. Raskaalla vauhtipyörällä varustetulla laikkahakurilla sen sijaan vääntömomenttikäyrä säilyy pieniä puita haketettaessa paljon tasaisempuna. Palahakurin vääntömomentti tasoittuu kuitenkin ratkaisevasti, jos sitä käytetään suurilla kierrosnopeuksilla.

Vääntömomenttia voidaan tasata siis kartioruuvien kierrosnopeutta nostamalla. Akseliin ja muihin kone-elimiin kohdistuvan rasituksen pienentämiseksi kierrosnopeudesta onkin nostettu tutkimuksen perusteella 700—1000 kierrokseen minuutissa.

Useat palahakurin omistajat toivoivat kyselytutkimuksessa kartioruuvien tai siihen liitettävän vauhtipyörän massan tai läpimitan lisäämistä työhuippujen tasaamiseksi ja akselin rasituksen vähentämiseksi. Tähän tähtäävät toimenpiteet onkin jo käynnistetty.



Kuva 3. Esimerkki nivelakseliin kohdistuvan vääntömomentin vaihtelusta haketettaessa tyveltä 10 cm:n paksuista jäädyntynyttä leppää KOPO PH-10 palahakurilla. Kartioruuvien kierrosnopeus 640 tai 1000 r/min.

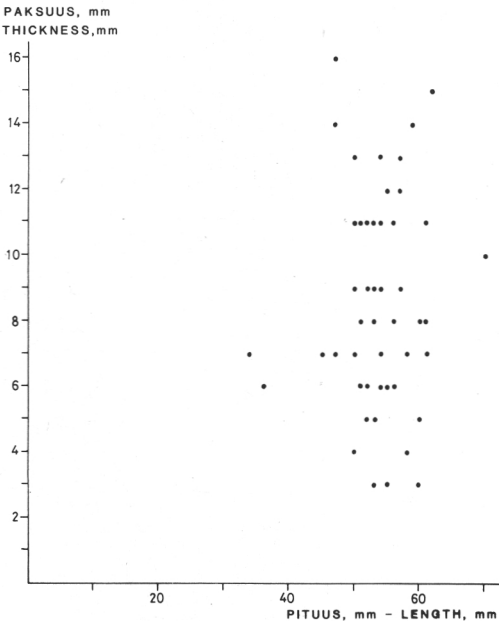
Figure 3. An example of the variation of the torque in the shaft when chipping 10 cm (butt diameter) frozen alder with KOPO PH-10 block chipper. Screw speed 640 or 1000 rpm.

4. PALAHAKKEEN OMINAISUUDET

41. Palakoko

Palan pituuden määrää kartioruuvien kierteen nousukulma. KOPO palahakkurissa kierre nousee yhden kierroksen matkalla 110 mm. Mikäli palan pituutta halutaan muuttaa nykyisestä, se on tehtävissä rakentamalla kartion kierteen nousu jyrkemmäksi tai loivemmaksi.

Teollisuushakkeen perinteisiin vaatimuksiin nähden palahake on varsin karkeata. Vallitseva palan pituus on näet 50—60 mm. Niinpä 32 mm:n reikäseulalle jääneitten täysimittaisten palasten keskimittat olivat tuoreesta mäntykokopuusta tehdyssä palahakkeessa seuraavat: pituus 53 mm, leveys 43 mm ja paksuus 8,7 mm. Kuva 4 on esimerkkinä palan pituuden ja paksuuden keskinäisestä vaihtelusta.



Kuva 4. Esimerkki palan pituuden ja paksuuden keskinäisestä vaihtelusta tuoreesta männystä tehdyssä palahakkeessa.

Figure 4. An example of the mutual variation of the length and the thickness of the particles in block chips made of green whole trees of pine.

Hienoa purumaista ainesta on palahakkeessa hyvin vähän. Alle 6 mm:n pituisen reikäseulajakeen osuus oli pituusseulonnassa vain 0,5—2,5 %. Alle 2 mm:n rakoseulajakeen osuus oli paksuusseulonnassa saman suuruinen (taulukko 1). Tavanomaisessa kokopuuhakkeessa hienojakeitten osuus on moninkertainen (vrt. Kanninen, Usvaara ja Valonen 1979). Pienen puruosuuden ansiosta pölyongelmat ovat palahaketta käsiteltäessä vähäisiä. Kyselytutkimuksessa käyttäjät pitivät purun määrää kohtuullisena, ja hakkeen pölyminen katsottiin liian suureksi vain poikkeustapauksissa, lähinnä palahakkeen ollessa hyvin kuivaa.

Pölyn määrä	Haketuksessa Vastausten jakauma, %	Varastokäsittelyssä Vastausten jakauma, %
Suuri	2	1
Keskinkertainen	13	26
Pieni	81	59
Ei osaa sanoa	4	14
Yhteensä	100	100

Palahakkeen pääosa keskittyy karkeisiin jakeisiin. Keskimäärin kolme neljänestä palahakkeesta jäi pituuslajittelussa 32 mm:n reikäseulalle ja kaksi kolmännestä paksuuslajittelussa 10 mm:n rakoseulalle vastavasti. Tavanomaisessa lehtipuun kokopuuhakkeessa näitten ylisuurten jakeitten osuus sen sijaan on keskimäärin vain 7 %.

Kun vain 2 % käyttäjistä katsoi purujakeen osuuden liian suureksi, niin tikkujen ja oksanpätkien osuutta piti liian suurena 36 % käyttäjistä. Pääosa viimeksi mainituista teki palahakkeen karsimattomasta kokopuusta.

Tikkujen määrä	Vastausten jakauma, %
Liian suuri	36
Kohtuullinen	52
Liian pieni	—
Ei osaa sanoa	12
Yhteensä	100

Palahakkeen koneellinen syöttö edellyttää suuren palakoon vuoksi erikoisratkaisuja.

Taulukko 1. Palahakkeen pituus- ja paksuusjakauma tavanomaiseen kokopuuhakkeeseen verrattuna.
 Table 1. Length and thickness distribution of block chips compared with ordinary whole-tree chips.

Hakelaji Chip assortment	Paksuus, mm — Thickness, mm						Yht. — Total
	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10+	
	Osuus, % — Proportion, %						
Palahake, karsimaton leppä — Block chips, undelimited alder	0,6	1,6	3,6	6,4	14,0	73,8	100,0
Palahake, karsittu sekapuu — Block chips, delimited mixed species	2,5	2,5	5,7	10,2	21,1	58,0	100,0
Hienohake, karsimaton lehtipuu — Ordinary chips, undelimited hardwoods*	11,7	27,4	32,4	14,3	6,9	7,3	100,0
	Pituus, mm — Length, mm						Yht. — Total
	0—6	6—13	13—19	19—25	25—32	32+	
	Osuus, % — Proportion, %						
Palahake, karsimaton leppä — Block chips, undelimited alder	0,6	1,5	2,7	4,3	9,7	81,2	100,0
Palahake, karsittu sekapuu — Block chips, delimited mixed species	2,5	3,6	5,5	7,9	14,6	65,9	100,0
Hienohake, karsimaton lehtipuu — Ordinary chips, undelimited hardwood*	6,7	22,1	26,2	22,6	15,0	7,4	100,0

*Lähde — Source: Kanninen, Uusvaara ja Valonen 1979.

Palamisominaisuuksien osalta palakoon vaikutus on paljon kattilakohtainen ja usein vaikeasti määriteltävissä.

42. Kuivuminen

Taloudellisuus edellyttää ainakin pienkatiloissa puun kuivattamista, sillä sekä puun tehollinen lämpöarvo että siitä poltossa talteen saatava osuus eli polton hyötysuhde paranevat puun kosteuden alentuessa. Koska hakkeen kuivuminen on palakoosta riippumatta aina verraten hidasta, pienpuu tulisi mahdollisuuksien mukaan kuivattaa jo ennen hakettamista.

Luonnollisin vaihtoehto on rasimenetelmä, jossa maahan kaadettujen karsimattomien pienpuitten kuivuminen perustuu puun elävän latvuksen kesäaikaiseen haihdutustoimintaan. Tulokset vaihtelevat säästä ja metsikköoloista riippuen, mutta keskimääräisissä oloissa päästään 3—6 viikon kuivatuksella seuraaviin tuloksiin (vrt. Hakikila 1962, Simola ja Mäkelä 1976, Alhojärvi 1981).

	Tuore puu Kosteus tuorepainosta, %	Rasipuu Kosteus tuorepainosta, %
Koivu	45—50	30—35
Leppä	50—55	35—40
Mänty	50—60	40—50
Kuusi	50—60	35—40

Rasikuivatuksella saavutettava hyöty on vuoden 1981 alun energian hinnoilla varovaisesti laskien arvoltaan yli 10 mk kiin-

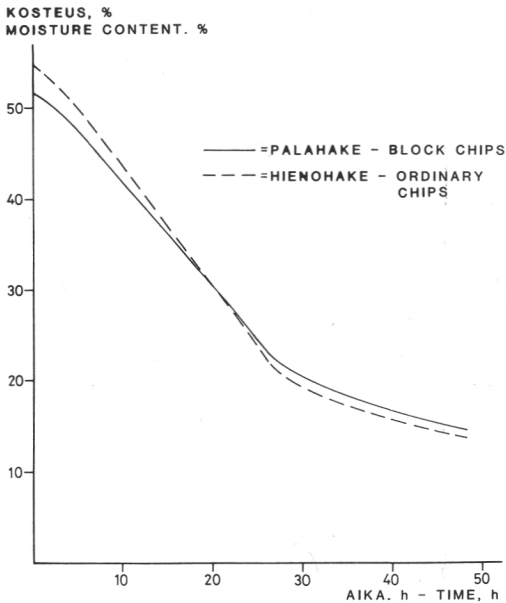
tokuutiometriä kohti (vrt. Kärkkäinen 1981). Rasimenetelmää käytetäänkin maatiloilla varsin yleisesti. Kyselytutkimuksen 121 vastaajasta peräti 98 kaatoi ainakin osan puista rasiin. Ennen hakettamista tapahtuvaan kuivatukseen käytettiin seuraavia menetelmiä.

Kuivatusmenetelmä	Vastaajia, kpl
Kuivatus rasissa	98
Kuivatus pinossa	39
Kuivatus muulla tavoin	3
Ei kuivatusta	38

Kuivatus rasissa tai pinolla ei ole kuitenkaan aina mahdollista. Epäedullisten sääolojen vallitessa rasikuivatus saattaa epäonnistua, ja joskus rasipuut vettyvät myöhemmin syksyllä uudelleen. Mikäli korjuu viivästyy, hyvin kuivuneitten rasipuitten kosteus alkaa ilman suhteellisen kosteuden lisääntyessä syksyllä jälleen kohota.

Puut joudutaankin hakettamaan usein niin kosteina, että kuivatusta on polton hyötysuhteen parantamiseksi ja homepölyvaaran poistamiseksi jatkettava vielä haketustavaiheen jälkeen. Käsillä olevassa työssä on pyritty alustavasti selvittämään, poikkeako palahake kuivumisominaisuuksiltaan merkittävästi tavanomaisesta hienohakkeesta.

Kuva 5 perustuu Pentti Nisulan Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla tekemään vielä julkaisemattomaan tutkimukseen, jossa vertailtiin



Kuva 5. Palahakkeen ja hienohakkeen kuivuminen ilmavirtauksen alaisena laboratoriokokeessa. Ilman ulostulovirtausnopeus 50 cm:n hakekerroksen läpi 1 m/s (Pentti N i s u l a n julkaisematon aineisto).
 Figure 5. Drying of block chips and ordinary chips in a laboratory experiment under air circulation. The speed of air through a 50 cm chip layer is given in 1 m/s in both cases (unpublished material of Pentti N i s u l a).

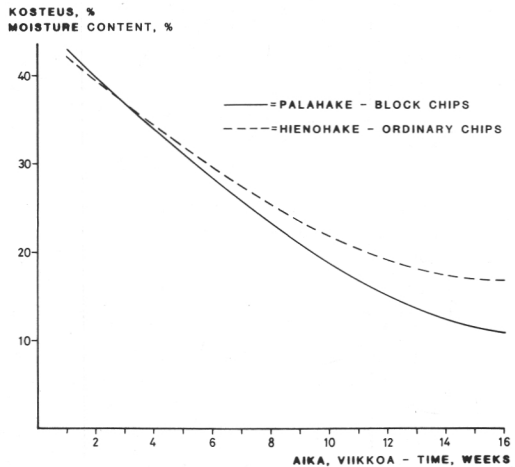
tuoreesta karsimattomasta lepästä tehdyn palahakkeen ja hienohakkeen kuivumista tarkoin määrättyissä laboratorio-oloissa. Siivilta suljetun 50 cm:n paksuisen hakekerroksen läpi puhallettiin keskuslämmityshuoneen ilmaa siten, että ulos tulevan ilman virtausnopeus oli kummassakin tapauksessa 1 m/s. Palahakkeen ja hienohakkeen väliset kuivumiserot olivat kolme kertaa toistetussa kokeessa perin pieniä. Vasta kun kuivattamista jatkettiin alle 20 %:n, mikä käytännössä tuskin tulee kysymykseen, hienohake näytti saavuttavan lopulta hieman alhaisemman kosteuden. Ero on vailla käytännön merkitystä.

Kuvan 5 kokeen osalta on korostettava, että ilman ulostulovirtaus oli tässä tapauksessa järjestetty kummallakin hakelajilla samaksi. On kuitenkin ilmeistä, että samantehoista puhallinta käytettäessä palahake läpäisee enemmän ilmaa kuin hienohake. Paremmen läpäisykyvyn onkin oletettu vaikuttavan siten, että kuivuminen tapahtuisi palahakkeessa käytännön oloissa itse asiassa nopeammin kuin hienohakkeessa.

Tätä kysymystä pyrittiin selvittämään keväällä 1980 järjestetyssä vertailevassa kokeessa, jossa latoon varastoitua pala- ja hienohaketta kuivatettiin puhaltamalla kylmää ilmaa hakekasan alle sijoitettujen reiällisten putkistojen kautta. Kummassakin 32 i-m³:n kasassa hakkeen kosteus muuttui kokeen aikana epätasaisesti ja vyöhykkeittäin, mikä vaikeutti tulosten tulkintaa. Merkitseviä eroja ei voitu todeta.

Kolmannessa kokeessa seurattiin lepän palahakkeen ja 10 mm:n hienohakkeen painon ja kosteuden muuttumista lämpimään autotalliin sijoitetussa harvarakenteisessa 1 m³:n lautalaatikossa syksyllä 1980 yhteensä kolmen kuukauden ajan. Vaikka varsinaista ilmankierrätystä ei käytetty, kosteudeltaan aluksi 43-prosenttisen puun kuivuminen edistyi molemmissa laatikoissa varsin hyvin. Palahake kuivui hienohaketta paremmin (kuva 6).

Tutkimussarjan kokeet eivät tuoneet esiin kovin merkittäviä eroja pala- ja hienohakkeen kuivumisnopeudessa. Paremmen ilmanläpäisykyvyn ansiosta palahakkeen kuivattaminen lienee kuitenkin jonkin verran helpompaa. Kokeet tehtiin toisaalta verraten pienillä hake-erillä, eikä niitten perusteella voida tehdä pitkälle meneviä päätelmiä pala- ja hienohakkeen kuivumisesta suurissa varastomuodostelmissa.



Kuva 6. Palahakkeen ja hienohakkeen kuivuminen harvarakenteisessa 1 m³:n lautalaatikossa huonelämpötilässä.

Figure 6. Drying of block chips and ordinary chips at room temperature in 1 m³ board boxes of crude construction.

43. Paino, tiivys ja lämpöarvo

Palahakkeen kuutiometripaino määräytyy puuaineen tiheyden, hakkeen tiivyyden ja puun kosteuden mukaan. Näistä puuaineen tiheys riippuu ennen kaikkea puulajista. Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston aineistojen mukaan pienikokoisen kokopuuraaka-aineen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys (kuiva-ainetta tuoreessa tilassa mitattua kiintokuutiometriä kohti) on oksien vaikutus mukaan luettuna seuraava:

	Kuiva-tuoretiheys kg/m ³
Pienikokoinen koivu	460
Pienikokoinen leppä	370
Pienikokoinen haapa	405
Pienikokoinen havupuu	385

Hakkeen irtokuutiometrin ja kiintokuutiometrin massan suhde eli *hakkeen tiivys* vaihtelee hakkeen ominaisuuksista ja kuormaustavasta riippuen. Palahakkeen tiivyyttä tutkittiin kolmessa eri kokeessa tilavuus-, paino- ja kosteusmittauksin seuraavin tuloksin. Kaikki mittaukset on tehty ennen kuljetusta siten, että kuljetuksessa tapahtuva painuminen ei ole vaikuttanut tiivyyteen.

- Ensimmäisessä kokeessa mitattiin rasikuivasta leppäkokopuusta tehdyn palahakkeen tiivys traktorin yläpuolelle asennetussa 4,5 m³:n säiliössä. Neljän kuorman aineistossa palahakkeen tiivys oli keskimäärin 0,37. Verraten alhainen tiivys lienee aiheutunut osin kuorman pienestä koosta ja osin kuormaustavasta. Kun palahakkuri joutuu puhaltamaan puupalat korkealle säiliöön, ne eivät pakkaannu yhtä tiiviiseen kuin puhalluksen suuntautuessa alaspäin.
- Toisessa kokeessa oli kysymyksessä koivun, haavan ja lepän tuore kokopuuhake traktorin peräkärjessä yhdessä 8 m³:n kuormassa. Palahakkeen tiivys oli 0,40.
- Kolmannessa tapauksessa mitattiin koivuvaltaisesta pienpuurangasta tehdyn palahakkeen tiivys kuorma-auton lavalla 31 m³:n kuormassa. Kahden kuorman keskimääräinen tiivys oli 0,39.

Näitten suppeitten aineistojen perusteella voitaneen palahakkeen tiivyytenä ennen kuljetusta käyttää lukua 0,39, mikä on varsin lähellä tavanomaisen kokopuuhakkeen keskimääräistä tiivyyttä (vrt. Kanninen, Uusvaara ja Valonen 1979).

Irtokuutiometrin paino eri puulajeilla on laskettu taulukkoon 2 edellä esitettyjen puun kuiva-tuoretiheyttä kuvaavien lukujen ja palahakkeen tiivyyden 0,39 pohjalta. On kuitenkin huomattava, että tiivys ja paino

Taulukko 2. Palahakkeen irtokuutiometrin paino ennen kuljetusta.

Table 2. The weight of a loose cubic metre of block chips before transport.

Puulaji Species	Tuoreen puun paino Weight of green wood	Rasikuivan puun paino Weight of leaf-seasoned wood	Kuiva-aine Dry matter
	kg/i-m ³ — kg/loose m ³		
Koivu — Birch	330	270	180
Leppä — Alder	290	235	145
Mänty — Pine	335	275	150

vaihtelevat raaka-aineesta, puun kuivumisesta, kuormaustavasta, kuorman tai varaston koosta sekä palahakkurin kartioruuvien terävyydestä riippuen. Jos raaka-aineessa on runsaasti hienoja vitsamaisia oksia ja jos ruuvien leikkaava harja on tylsä, tikut ja oksanpätkät alentavat palahakkeen tiivyyttä. Toisaalta tiivys kasvaa palahaketta kuljettaessa.

Kokopuusta tehdyn palahakkeen lämpöarvo tuoreen ja rasikuivan puun kiloa sekä irtokuutiometriä kohti on esitetty taulukossa 3. Palahakkeen irtokuutiometrin lämpöarvo on puulajista riippuen tuoreella puulla 655—840 kWh ja rasikuivalla puulla vastaavasti 700—885 kWh. Irtokuutiometri rasissa kuivuneesta pienikokoisesta karsimattomasta koivusta tehtyä palahaketta vastaa lämpöarvoltaan 80 dm³ kevyttä polttoöljyä. Vastaava määrä on lepällä 60 ja männyllä 65 dm³.

Taulukko 3. Palahakkeen irtokuutiometrin lämpöarvo.
Table 3. The fuel value of a loose cubic metre of block chips (i-m³ = loose m³).

Yksikkö Unit	Koivu Birch	Leppä Alder	Mänty Pine
	Lämpöarvo — Fuel value		

Tuore puu — Green wood

MJ/kg	9,3	8,9	7,4
kWh/kg	2,6	2,5	2,1
MJ/i-m ³	3025	2365	2475
kWh/i-m ³	840	655	690

Rasikuiva puu — Leaf-seasoned wood

MJ/kg	11,9	10,8	9,6
kWh/kg	3,3	3,0	2,7
MJ/i-m ³	3190	2520	2620
kWh/i-m ³	885	700	725

44. Kuoren erottaminen

Metsähaketta käytetään paitsi polttoon myös metsäteollisuuden raaka-aineena. Teollisuuden jalostuskäyttöä rajoittaa kuitenkin suuri kuori- ja viherainepitoisuus, varsinkin kun metsähakkeen puhdistaminen on osoittautunut erittäin vaikeaksi.

Palahake on tarkoitettu toistaiseksi vain polttokäyttöön. Mikäli palahakkeen kuoriminen ja puhdistaminen osoittautuisivat kuitenkin yksinkertaisemmiksi kuin tavanomaisen hakkeen, palahakemenetelmä saattaisi ehkä soveltua pienpuun korjuuseen myös massa- ja levyteollisuuden raaka-aineksi (A l e s t a l o 1980).

Eräs pisimmälle kehitetyistä kokopuuhakkeen kuorinta- ja lajittelujärjestelmistä on Imatralla sijaitsevalla Enso-Gutzeit Osakeyhtiön hakkeenpuhdistusasemalla, jonka on rakentanut Kone Osakeyhtiö. Kuorellinen hake puhdistetaan siellä massateollisuutta varten ensin kuularummussa hiertämällä ja sen jälkeen kiekko- ja tasoseuloilla lajittelemalla. Menetelmällä voidaan saavuttaa kohtuullisen puunhukan puitteissa sulfaattimassateollisuudelle riittävä puhtausaste, mutta hakkeen osittainen jauhautuminen neulamaiseksi voi aiheuttaa häiriöitä Kamyrkeittimellä.

Enso-Gutzeit Osakeyhtiön hakkeenpuhdistusasemalla järjestettiin joulukuussa 1979 alustava koe, jonka tarkoituksena oli selvittää karkean palahakkeen käyttäytyminen kuularumpukuorinnassa. Tutkimus tehtiin tuoreesta ensiharvennumännystä valmistetulla palahakkeella tavanomaisen kokopuuhakkeen ajon nopeutta soveltaen.

Kuularumpukäsittelyn jälkeen hake lajiteltiin uudelleen; keskijae hyväksyttiin keittoon sellaisenaan ja purujae käytettiin polttoaineeksi tai kuorikkeeksi. Suoraan hyväksytyksi tuli hake, joka läpäisi sekä 9 mm:n kiekko-seulan että 32 mm:n reikäseulan mutta ei 6 mm:n reikäseulaa. Asetelma osoittaa, että karkeajae puhdistui varsin hyvin.

Palahakkeen
puupitoisuus, %

Alunperin	82,0
Rummutuksen jälkeen	
Karkeajae	96,4
Keskijae	86,0
Purujae	34,8

Keskijakeen puhtausaste sen sijaan ei ollut massateollisuuden kannalta läheskään tyydyttävä, sillä sen puupitoisuus oli noussut vasta 86 %:iin. Kuori keskittyi kuitenkin selvästi keskijakeen hienoimpiin osiin, kun taas sen järeimmän osan puhtaus oli täysin riittävä. Keskijakeen pituusseulontatulokset oli tarkemmin jaoteltuna seuraava:

Jae, mm	Osuus, %	Puupitoisuus, %
—19	59	77,8
19—25	26	96,9
25—32	15	98,9
Keskimäärin	100	86,0

Yhdennetyin energia- ja massateollisuuskäytön kannalta palahakkeen kuorintatulokset on rohkaiseva antaen aiheutta jatkotutkimuksiin. Olihan kaiken 19 mm:n reikäseulan läpäisemättömän palahakkeen keskimääräinen puupitoisuus tässä alustavassa kokeessa peräti 97 %.

Rummutuksen yksinomaisena tavoitteena on siis kuori- ja viheraineen hienontaminen siten, että se voidaan poistaa puruseulonnassa. Rumpukäsittelyssä puupaloissa tapahtuu kuitenkin myös syitten suuntaista halkeilua, niin että palahakkeenkin keskimääräinen leveys pieneni käsittelyn aikana 43 mm:stä 31 mm:iin. Pituus- ja paksuus-suunnassa mittojen muutokset sen sijaan olivat vähäisiä.

Palakoko ei niin ollen pienentynyt massan keiton kannalta haitallisesti. Palakoon tyydyttävä säilyminen kuularumpukäsittelyssä on merkittävä etu verrattuna tavanomaiseen hakkeeseen, joten palahakemenetelmän soveltuvuutta teollisen raaka-aineen korjuuseen on syytä selvittää edelleen.

5. PALAHAKKEEN POLTTO

51. Syöttö kattilaan

Maatiloilla ja muussa pienkulutuksessa hakekattilan täyttö tapahtuu Suomessa edelleen lähes yksinomaisesti käsityönä. Ruotissa ruuvikuljettimeen ja hienojakoiseen tasalaatuiseen tikuttomaan hakkeeseen perustuvat automaattiset syöttöjärjestelmät ovat yleisempiä, mutta niissäkin automatiikka on ratkaistu yleensä vain osittain ja edellyttää täydentävää käsityötä.

Syöttöautomaatiikan kehittyminen edesauttaisi hakkeen polton laajenemista pientaloissa. Käsinsyöttö merkitsee toisaalta kuitenkin halvempia laitekustannuksia. Suurin osa nykyisistä käyttäjistä näyttääkin olevan valmis tyytymään käsisyöttöiseen ratkaisuun vastedeskin.

Kyselytutkimuksen mukaan palahake siirretään kattilaan useimmiten lapiolla, sangolla, saavilla tai talikolla. Eräissä tapauksissa kattila täytetään yläpuolella olevasta siilosta pudottamalla. Muita vaihtoehtoja ovat palahakkeen siirtäminen kottikärryllä, säkillä tai etukuormaajalla, mutta näihinkin liittyy yleensä lapiotyötä.

Kattilan täyttömenetelmä	Vastausten jakauma, %
Lapiolla	42
Sangolla tai saavilla	29
Talikolla	13
Siilosta pudottamalla	7
Kottikärryllä	6
Automaattikuljettimella	2
Muulla tavoin	1
Yhteensä	100

Kokemukset palahakkeen käsiteltävyydestä edellä mainituilla menetelmillä ovat myönteisiä. Pölyongelmat eivät ole kohutuuttomia. Hakevaraston pohjan tulee olla kuitenkin tasainen, jotta lapion, talikon tai sangon täyttäminen käy esteettä lattiaa vasten.

Palahakkeen käsiteltävyys käsinsyötössä	Vastausten jakauma, %
Hyvä	39
Keskinkertainen	51
Huono	3
Ei osaa sanoa	7
Yhteensä	100

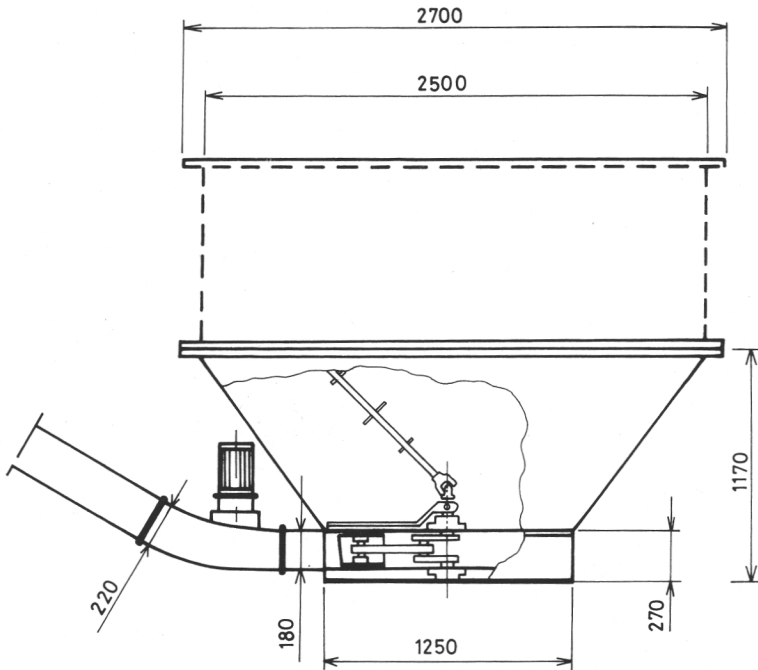
Polttohakkeen käytön laajentuessa tarve syötön automatisointiin kasvaa. Palahakkeen osalta ei näytä olevan mahdollista turvautua pienikokoisiin ruuvisyöttimiin, sillä niitten käyttö edellyttää hienojakeista haketta. Karkean hakkeen syöttöön voidaan kyllä käyttää suuriläpimittaista ruuvia tai kolakuljetinta, mutta ne eivät sovellu pienkattiloitten yhteyteen.

Uuden ratkaisun palahakkeen tai muun kiinteän polttoaineen automaattiseen syöttöön tarjoaa KOPO UM-10 syötin, jossa palahaketta siirretään männällä työntämällä. Mäntäsyöttimessä ovat seuraavat rakenteelliset osat (kuva 7).

- Alaspäin supistuva suppilomainen metallirakenne polttoainesiilo, jonka tilavuus vakiovarusteena on 4 m³. Siilon tilavuutta voidaan helposti suurentaa ainakin 10 m³:iin laudasta tai muusta materiaalista tehtävillä lisälaidoilla. Siilon pohjalla on 15 × 20 cm:n reikä, josta polttoaine valuu alas syöttökammioon.
- Siilon pohjalle laakeroitu sekoittaja. Sen nivelletyn pystyakselin mukana pyörii vaakatasossa siilon pohjan tuntumassa kaavin sekä holvaantumisen estävä sekoittaja.
- Siilon alapuolella oleva syöttökammio, josta polttoaine siirtyy sykäyksittäin männän työntämänä polttoaineputkeen.
- Rajakatkaisijan tai kellolaitteen ohjaaman 1,5 kW:n sähkömoottorin käyttämä vaakatasossa liikkuva mäntä, joka työntää polttoaineen syöttökammiosta polttoaineputkeen. Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen männän mitat ovat 150 × 200 mm ja iskun pituus 200 mm. Moottori on varustettavissa suojauskytkimellä ylikuormituksen estämiseksi.
- Putki, jota pitkin männän työntämä polttoaine kulkeutuu syöttökammiosta kattilaan. Poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen putken läpimitta, joka alkupäässä on 180 × 180 mm, laajenee kitkan pienentämiseksi kattilaa kohti. Putki, jonka enimmäispituus on 5 m, voidaan rakentaa myös kaartavaksi tai jopa loivaan kulmaan. Tämän tutkimuksen yhteydessä tutkitun syöttölaitteen putki teki metrin päässä lähtöpisteestä 45° kulman ja jatkui sen jälkeen suorana 2 m.

Mäntäsyöttölaitteella suoritettua lyhytaikaisessa kokeessa mitattiin seuraavan aselman mukaisia tuloksia. Männän syöttöliike, joka toistui 41 sekunnin välein, siirsi männän kokopuuhaaketta kattilaan irtotila-





Kuva 7. KOPO UM-10 mäntäsyötin.

Figure 7. KOPO UM-10 piston feeder for block chips.

vuutena mitattuna keskimäärin 2,4 dm³ iskua kohtia. Polttoaineen palakoon pienentyessä ja tasaantuessa syöttönopeus kasvoillen koivun hienohakkeella 3,3 ja sahanpurulla keskimäärin 3,8 dm³ iskua kohti.

	Syötetty puumäärä		Sykekohtainen huipputehon tarve, W
	dm ³ /isku	dm ³ /h	
Palahake kokopuusta	2,4	215	660—1360
Palahake rangasta	2,7	229	680—1870
5 mm:n hienohake kokopuusta	3,3	283	660— 750
Havupuinen sahanpuru	3,8	339	610— 840

Syöttölaitteen kapasiteetti oli tässä koeksessa tavaralajista riippuen 5—8 i-m³/vrk, mikä riittää tyydyttämään miltei minkä tahansa maatilan tai pientalon tarpeen. Häiriöitä aiheutui kuitenkin tilanteissa, joissa mäntään kohdistuva vastus nousi liian suureksi, niin että suojakytkimen laukeaminen katkaisi syötön. Palahakkeen syötössä voiman tarve on selvästi suurempi kuin hienolla hakkeella (kuva 8). Toinen häiriölähde aiheutuu kokopuusta tehdyssä palahakkeessa olevista oksista ja risuista, jotka haittaavat hakesiilon sekoittajan toimintaa.

Putken kaartamismahdollisuus helpottaa suuresti KOPO UM syöttölaitteen sijoittamista kattilaan nähden. Se voi sijaita myös

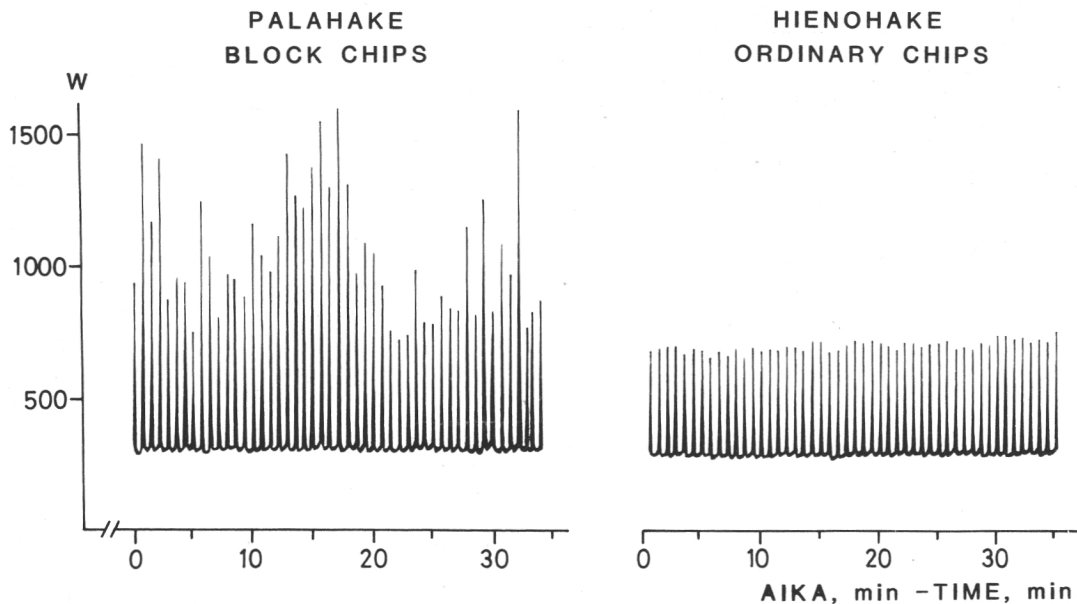
ulkona, jolloin siilo voidaan täyttää vaikka etukuormaajalla tai traktorin perävauhasta kippaamalla. Jos hake tai puru on märkää, jäätyminen saattaa kuitenkin aiheuttaa ulkovarastoinnissa vaikeuksia.

Mäntäsyöttölaite näyttää tarjoavan erinomaisen mahdollisuuden palahakkeen ja palakokojakaumaltaan epätasaisen hienohakkeen syötön automatisointiin. Ensimmäisen prototyypin koeajoissa tapahtui tosin vielä syöttökatkoksia, mutta sen jälkeen laitetta on kehitetty edelleen.

52. Palaminen

Palamistapahtuma riippuu polttoaineen ominaisuuksien ohella muun muassa tulipesän muodosta ja muurauksesta, arinasta ja palamisilman syötöstä. Koska eri kattilatyypin välillä on suuria eroja, polttokokeitten tulokset on ymmärrettävä kattilakohtaisiksi. Tietyllä kattilalla tehtyjä mittauksia ei voida soveltaa ilman muuta toiseen kattilatyypin.

Talvella 1980 tehtiin Työtehoseuran toimesta VTT:n LVI-tekniikan laboratoriossa koe, jossa selviteltiin puun palakoon vaikutusta poltossa. Vertailun kohteina olivat hienojakeinen 10—20 mm:n hake, KOPO



Kuva 8. Esimerkki KOPO UM-10 syöttimen tehontarpeesta watteina männän sykettä kohti. Tuoreesta mäntykoko-
puusta tehty 5 mm:n hienohake ja palahake.
Figure 8. An example of the energy requirement of the KOPO UM-10 feeder in watts per piston pulse. Block chips
and 5 mm fine chips made of green undelimited pine.

PH-10 kartioruuvihakkurilla tehty 50—70 mm:n palahake sekä siipiterähakkurilla tehty 100—150 mm:n pilke. Kaikissa tapauksissa oli raaka-aineena ylivuotinen, kosteudeltaan 40 %:n koivuranka (vrt. T u o m i 1980).

Seuraavassa selostetaan lyhyesti Työteho-seuran kokeessa alapalokattilalla saavutetuja tuloksia. Mainittakoon, että Metsäntutkimuslaitoksen palahakkeen käyttäjille tekemässä haastattelututkimuksessa 86 %:lla vastaajista oli alapalokattila ja vain 14 %:lla yläpalokattila.

Tutkimuksen pääasiallisena kohteena oli Kespes 25 keskuslämmityskattila, jossa palaminen tapahtuu 480 × 530 mm:n tiiliarinalla ja johon palamisilma syötetään puhaltimella. Kokeet tehtiin sekä suurimmalla mahdollisella että puolella kattilakuormituksella. Hyötysuhde laskettiin suoraa mittaus-ta käyttäen eli kattilaveteen siirtyneen lämpömäärän ja polttoaineen sisältämän tehollisen lämpömäärän suhteena.

Täydellä kuormituksella ajettaessa kattilasta saatiin suurin teho palahaketta poltettaessa. Kokonaishyötysuhde sen sijaan oli hieman parempi hienojakeisella hakkeella, mutta erot olivat tältä osin pieniä (taulukko 4).

Kun kattilaa käytettiin osateholla, hyötysuhde laski kaikissa tapauksissa voimakkaasti. Taulukossa 4 hyötysuhde näyttää olevan paras hienojakeisella hakkeella, mutta näennäinen ero lienee aiheutunut itse asiassa siitä, että osakuormitus oli koetilanteessa säädetty hienohakkeella suuremmaksi ja hyötysuhteen kannalta siis edullisemmaksi kuin palahakkeella ja pilkkeellä vastaavasti. Työteho-seuran loppupäätelmän mukaan palakoolla ei näyttänyt-
kään olevan merkittävää vaikutusta polton

Taulukko 4. Työteho-seuran kokeissa mitatut tehot ja hyötysuhteet poltettaessa haketta, palahaketta ja pilkettä Kespes 25-kattilassa (T u o m i 1980).

Table 4. The effect and efficiency (of lower heat value) of a Kespes 25 boiler burning fine chips, block chips or fuel blocks in the experiments of the Work Efficiency Association (T u o m i 1980).

Polttoaine Fuel	Palakoko Particle size mm	Täysi kuormitus Full capacity		Puoli kuormitus Half capacity	
		Teho Effect kW	Hyötysuhde Efficiency %	Teho Effect kW	Hyötysuhde Efficiency %
Hake Chips	10—20	35,3	63,9	22,0	54,3
Palahake Block chips	50—70	40,0	63,0	20,3	51,5
Pilke Blocks	100—150	35,9	62,0	17,4	50,3

kokonaishyötysuhteeseen ajettaessa alapaloista puhallinvetokattilaa puolella kuormituksella. Erittäin suureksi todettiin samassa kokeessa sen sijaan puun kosteuden vaikutus.

Hakkeen edullisin palakoko on epäilemättä riippuvainen kattilaratkaisusta. Ruuvisyöttöisten etupesäjärjestelmien häiriötön toiminta vaatii hienojakeista haketta, kun taas karkea palahake näyttää soveltuvan hyvin alapalokattiloihin. Suuri palakoko helpottaa alapalokattilan palamisilman saantia, mikä selittää myös korkean kattilatehon täydellä kuormituksella. Laaja paloalue pienentää holvaantumisvaaraa kattilassa. Palahakkeesta arinalle jäävä yhtenäinen hiilikerroksen edesauttaa liekin syttymistä pysähdyksen jälkeen. Voidaan myös olettaa, että vähän purua sisältävästä palahakkeesta syntyvät palokaasut ovat puhtauden suhteen tyydyttäviä.

Käyttäjien omakohtaiset kokemukset palahakkeen poltosta ovat myönteisiä. Neljä viidennestä haastattelututkimuksen vastaajista oli varsin tyytyväisiä palahakkeen käyttäytymiseen poltossa. Muutamissa vastauksissa tosin katsottiin hyvin kuivuneen palahakkeen palavan liian nopeasti.

6. KÄYTTÄJIEN KOKEMUKSIA

Kyselytutkimukseen vastasi 121 palahakkurin omistajaa, joista 81 % oli maanviljelijöitä. Joka kolmannella hakkurilla oli vastaajan lisäksi toinen tai useampikin omistaja.

Kun kysely tehtiin syksyllä 1980, oli kulunut vain vuosi palahakkurin markkinoinnin alkamisesta. Siitä syystä kokemukset olivat vasta lyhytaikaisia ja osin puutteellisia.

Palahakkurin omistaja oli valmistanut haketta keskimäärin 77 i-m³, josta hän oli ennättänyt polttaa vain 27 i-m³. Tulevaksi vuosikäyttöksi hän arvioi omalta osaltaan 88 i-m³, minkä lisäksi samalla palahakkurilla oli tarkoitus valmistaa palahaketta muitten käyttöön keskimäärin 93 i-m³ vuodessa.

Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta pääasiallinen käyttökohde oli asuinrakennuksen lämmitys, mutta puolet vastaa-

Vastaajan arvostelu	Palahakkeen syttyminen Vastausten jakauma, %	Palahakkeen palaminen
Hyvä	78	87
Keskinkertainen	17	8
Huono	—	—
Ei osaa sanoa	5	5
Yhteensä	100	100

Kyselytutkimuksen vastausten mukaan palahakkurin hankintapäätökseen oli vaikuttanut varsin yleisesti käsitys, että palahake palaa hienohaketta paremmin. Mittaustulokset samoin kuin käyttäjien kokemukset osoittavatkin, että palahakkeen palamisominaisuudet ovat hyvät ainakin alapalokattilassa. Palahakkeen ja tavanomaisen hienojakeisen hakkeen erot eivät kuitenkaan näytä olevan palamistapahtuman kannalta kovin suuria, ja palakoolla näyttää joka tapauksessa olevan paljon pienempi merkitys kuin esimerkiksi puun kosteudella.

Eräs käyttökohde, johon palahakkeen katsotaan soveltuvan erityisen hyvin, on puun kaasutus. Kanadassa ollaan kiinnostuneita palahakkeen käytöstä syrjäisillä seuduilla puukaasulla toimivien generaattorien polttoaineena.

jista lämmitti samalla myös jotain muuta rakennusta. Varsin yleisesti palahaketta käytettiin lisäksi karjarakennuksen veden lämmittämiseen. Viljan kuivaamoa lämmitettiin seitsemässä, sahan kuivaamoa yhdessä ja kasvihuonetta kahdessa tapauksessa. Eräs palahakkurin omistaja valmisti palahakkeesta puuhiiltä.

Palahake valmistettiin pääasiassa pienikokoisesta puusta, joka ei täytä metsäteollisuuden vähimmäisvaatimuksia. Puun rinnankorkeusläpimitta oli keskimäärin 7,4 cm. Mukana olivat kaikki puulajit, mutta koivu näytti olevan jonkin verran muita yleisempi. Pienikokoisten puitten lisäksi palahaketta tehtiin yleisesti suurten puitten latvoista ja oksista sekä useassa tapauksessa myös sahausjätteistä. Muita raaka-ainelähteitä ovat rakennustahteet sekä eräissä tapauksissa suokannot.

Vastaajien enemmistön tavoitteena oli

hakettaa pienpuu oksineen. Näin pyrittiin vähentämään karsimistyötä ja tehostamaan biomassan talteenottoa. Karsimattomien puitten hakettamiseen liittyi luonnollisesti vaikeuksia, joista oksanpätkien aiheuttama haketorven tukkeutuminen oli etenkin ensimmäisinä valmistuneissa palahakkureissa yleistä.

Pääasiallinen käytäntö oli karsimattomien kokopuitten hakettaminen, mutta paljon käytettiin myös karkeata karsintaa. Tällöin puista poistetaan ennen hakettamista vain se osa oksistosta, joka vakavimmin haittaa haketustyötä ja lisää palahakkeen tikkuisuutta. Yleisintä karsiminen oli kuusella ja latvoilla, kuten seuraavat luvut osoittavat.

	Hyvin karsittu	Palahakkeen raaka-aine		Yhteensä
		Karkeasti karsittu	Karsimaton	
Vastausten jakauma, %				
Kuusi pienpuu	15	46	39	100
Mänty pienpuu	11	41	48	100
Koivu pienpuu	11	36	53	100
Leppä pienpuu	9	32	59	100
Muu pienpuu	8	26	66	100
Latvat	12	43	45	100

Rasiinkaadon tarjoamia mahdollisuuksia puun kuivattamiseksi käytetään yleisesti hyväksi. Vaillinainen rasikuivaus johtaa etenkin koivulla usein kuitenkin ylipitkien oksanpätkien määrän kasvuun palahakkeessa, sillä nahistuneilla puolikuivilla oksilla on taipumus läpäistä palahakkuri liian pitkänä. Verraten runsaasti haketetaan myös tuoretta puuta, kun kaatotyö on syystä tai toisesta jäänyt myöhäissyösyyn tai talveen.

Pienpuun kosteus haketushetkellä	Vastausten lukumäärä, kpl
Lähes tuore	38
Rasissa kuivunut	98
Pinossa kuivunut	39
Muulla tavoin kuivunut	3
Yhteensä	178

Lähes kolmannes vastaajista ajoittaa haketustyön ympärivuotiseksi. Muitten osalta painopiste on kesä- ja syyskaudella. Talvella toiminta on lumihaittojen vuoksi hiljaisimmillaan.

Palahakkuria käyttävä traktorikalusto ei poikkea huomattavasti maatalouden yleisestä traktorikannasta. Traktorin keskimääräinen teho on 45 kW.

Traktorin valmistusvuosi	Osuus, %	Keskim. teho, kW
—1960	3	33
1961—1965	13	41
1966—1970	10	40
1971—1975	28	49
1976—1978	29	50
1979—1980	17	54
Kaikki	100	45

Palahakkuria käytetään pääasiassa siten, että hake puhalletaan suoraan peräkärriin. Ensijainen menetelmä on suoraan metsässä peräkärriin tapahtuva haketus, joka soveltuu hyvin karsimattomalle kokopuulle. Takaa tapahtuva syöttö edellyttää kuitenkin traktorin kääntämistä linkkuasentoon, mihin useat vastaajat toivoisivat muutosta.

Muut yleiset vaihtoehdot ovat haketus välivarastolla peräkärriin tai käyttöpaikalla suoraan hakevarastoon. Eräällä käyttäjällä on katettu hakekärry, johon palahake tehdään rasipuusta suoraan metsässä. Traktorin kantamaa hakesäiliötä käytetään toistaiseksi varsin vähän.

	Vastausten lukumäärä, kpl
Haketus metsässä peräkärriin	83
Haketus varastolla peräkärriin	64
Haketus käyttöpaikalla suoraan varastoon	37
Haketus maahan	9
Haketus erilliseen säiliöön	3
Yhteensä	196

Palahakkurilla työskentelyä ei pidetä ergonomisesti erityisen vaikeana. Verraten moni käyttää tuotoksen lisäämiseksi kahden miehen ryhmää, jolloin työ samalla kevenee. Useimmat luokittelevat haketustyön raskaudeltaan keskinkertaiseksi. Pölyongelma on vähäinen, kuten luvusta 41 ilmenee. Eniten näyttää olevan haittaa melusta, jota neljännes vastaajista pitää suurena (vrt. kuva 9).

	Suuri	Keskin-kertainen	Pieni	Yhteensä
Haketustyön raskaus	7	73	20	100
Hakkurin melu	25	56	19	100

Palahakkurilla työskentelyn turvallisuutta pidetään tyydyttävänä. Puitten takaisinlyöntivaaraa tuskin on. Mutta jos kartioruuvi saattaa mutkaisen puun kiertoliikkeeseen, syöttäjä on alttiina kiertävän puun iskulle.

Eniten vaikeuksia koituu haketustyössä risujen ja oksanpätkien aiheuttamasta tor-



Kuva 9. Palahakkurin käyttäjät eivät pidä haketustyötä raskeana. Kuulosuojainten käyttö on välttämätöntä.

Figure 9. Users of the block chipper do not consider the chipping work heavy. The ear muffs are necessary.

ven tukkeutumisesta. Ilmiö on erityisen häiritsevää norjaoksaisia koivuja ja pajuja sekä tiheälätkuksisia kuusia kokopuuna hakettaessa. Ongelma oli vaikein ensimmäisissä palahakkureissa. Myöhemmin sitä on voitu jonkin verran helpottaa eräin muutoksin.

Miläli puut haketetaan karsittuina, tukkeutumista ei juuri esiinny. Useimmat hakurinomistajat pitävät kokopuuhaketuksen etuja kuitenkin merkittävänä ja uskovat ongelmasta päästävän konekehittelyn avulla. Palahakkurin valmistaja onkin jo ryhtynyt soveltamaan ainakin seuraavia ratkaisuja, joita myös monet kyselytutkimuksen vastaajat ehdottavat. Ainakin norjaoksaisia koivuja ja pajuja hakettaessa on kuitenkin toistaiseksi suositeltavaa käyttää karkeata roiskekarsintaa erityisesti silloin, kun kysymyksessä on puolikuiva puu.

- Palahakkurin kierroslukusuositus on nostettu alkuperäisestä 540 rpm:stä 700—1000 rpm:ään, jolloin puhallus- ja heittovoima kasvaa.
- Umpinainen haketorvi on leikattu tyvipään alaosasta auki, mikä vähentää tukkeutumista.
- Syöttösuppilon eteen on ryhdytty kehittämään kevyttä läppämäistä karsintaterää, joka poistaa osan kokopuun pienistä oksista.

Toinen haketustyössä esiintynyt ongelma on traktorin ulosottoakseliin ja nivelakseliin

kohdistuva epätasainen rasitus, joka on aiheuttanut myös akselirikkoja. Nivelakselia ei ole läheskään aina varustettu suojakytkimellä. Kyselytutkimuksessa joka neljäs nivelakseli oli vailla suojakytintä.

Edellä mainittu kartioruuvien pyörimisnopeuden lisääminen samoin kuin massan kasvattaminen tasoittavat vääntömomenttihuippuja ja pienentävät akseliin kohdistuvaa rasitusta. Akselirikkojen välttämiseksi on lisäksi ehdottomasti käytettävä nivelakselin suojakytintä, jolla rasitushuiput katkaistaan.

Hake säilytetään yleisimmin katetussa sisä- tai ulkoavaruudessa. Eräällä tilalla on 35 m³:n väkirehusiilo muutettu vapaailma-kiertoiseksi hakevarastoksi. Yhteensä 8 vastaajaa kuivasi haketta kylmä- tai lämminilmapuhalluksella ja lisäksi varsin moni suunnitteli hakevaraston varustamista kylmäilmapuhalluksella.

Peräti 23 vastaajaa säilytti palahakkeen joko kokonaan tai ainakin osaksi kattamattomassa avovarastossa. Eräissä tapauksissa palahaketta siirrettiin kesäaikana kuivumisen myötä kasan pinnalta sisävarastoon, ja toisella tilalla taas kasan kuivumista edistettiin etukuormaajalla pöyhimäl-

lä. Mikäli kasa jää taivasalle syysateitten ajaksi, hakkeen kosteus lisääntyy haitallisesti syksyllä ja talvella.

Palahakkeen varastointitapa	Vastauksia, kpl
Ulkovarasto	
— Kattamaton	23
— Katettu	70
Sisävarasto	
— Ilman ilmanpuhallusta	52
— Kylmäilmanpuhalluksella	6
— Lämminilmanpuhalluksella	2

Varastointiaika vaihtelee suuresti samallaakin käyttäjällä. Joskus palahaketta saataan varastoida jopa 8—10 kk tai pitempäänkin. Ellei se ole hyvin kuivunutta, homepölyvaara on tällöin ilmeinen. Erityisesti tuoreesta, viherainetta sisältävästä kokopuusta tehty hake on palakoosta riippumatta herkkää homehtumaan, minkä vuoksi haketta tulisi kuivattaa pitkäaikaisen varastoinnin alkuvaiheessa esimerkiksi ilmanpuhalluksen avulla.

Kokemukset palahakkeen poltosta on sisällytetty lukuun 5. Kuten siitä tarkemmin selviää, käyttäjien enemmistö on varsin tyytyväinen palahakkeen syöttö- ja palamisominaisuuksiin. Syötön osalta kokemukset rajoittuvat kuitenkin käsinsyöttöön, sillä vain kahdessa tapauksessa on käytössä automaattisyöttö. Kiinnostus kehitteillä olevaan mäntäsyöttöjärjestelmään on suuri.

Kyselytutkimuksessa mukana olleista palahakkureista 40 oli yhteisomistuksessa. Hakkurit jakaantuivat omistajien määrän mukaan seuraavasti.

Omistajien lukumäärä	Palahakkureita kpl
1	80
2	20
3	13
4	3
5 +	5
Yhteensä	121

Yhteiskäytöstä saadut tosin lyhytaikaiset kokemukset olivat erittäin myönteisiä. Yhteistyö oli sujunut hyvin, ja hakkuri oli tarpeen tullen saatavissa edellisen käyttäjän jäljiltä hyvässä kunnossa. Poikkeuksena oli kuitenkin kaksi nivelakselin särkymistä.

	Hyvä	Keskin-kertainen	Huono	Yhteensä
	Vastausten jakauma, %			
Yleinen yhteistyö	92	8	—	100
Palahakkurin käyttöosaanti	100	—	—	100
Palahakkurin kunnossapysyminen	74	26	—	100
Nivelakselin kunnossapysyminen	68	26	6	100

Kyselytutkimuksen vastaajien kokemukset palahakkurin yhteiskäytöstä tukevat yleistä käsitystä, että hakkuri soveltuu yhteisomistukseen paremmin kuin monet maanviljelyksessä käytettävät koneet. Yhteiskäytön tarjoamiin mahdollisuuksiin tulisi kiinnittää huomiota paljon nykyistä enemmän.

KIRJALLISUUS

- ALESTALO, A. 1980. Kokopuuhaakkeen käyttöongelma. Enso-Gutzeit Osakeyhtiö, tutkimuslaitos. Julkaisematon muistio. 10 s.
- ALHOJÄRVI, P. 1981. Rasiinkaadolla kuivempaa polttopuuta. Teho 1:31—33.
- ERICKSON, J.R. 1976. Exploratory trials with a spiral-head chipper to make hardwood "fingerling" chips for ring flakers. Forest Products Journal Vol. 26:6:50—53.
- GARDNER, R.B., SCHAFFER, E.L. & ERICKSON, J.R. 1978. Converting forest residue to structural flakeboard — the fingerling concept. USDA Forest Service Research Paper INT-200. 31 s.
- HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342:1—38.
- KANNINEN, K., UUSVAARA, O. & VALONEN, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole tree raw-material. Folia For. 403:1—53.
- KÄRKKÄINEN, M. 1981. Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivatusmenetelmien perusteet. Summary: Foundations of leafseasoning and other drying methods of fuelwood. Folia For. 459:1—15.
- OLOFSSON, L. 1975. Värmevärden för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsteknik. Skogshögsk. 90:1—47.
- RYYNÄNEN, S. 1980. Maatilojen polttopuu — korjuukalusto, työvoima ja menetelmät. Teho 7—8: 20—22.
- SIMOLA, P. & MÄKELÄ, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. Folia For. 273:1—17.
- TUOMI, S. 1980. Hakkeen palakoon ja kosteuden vaikutus lämmityskattilan tehoon ja hyötysuhteeseen. Teho 7—8:34—36.

ODC 363.7:831.1:331
ISBN 951-40-0512-0
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. & KALAJA, H. 1981. KOPO palahakejärjestelmä. Summary: KOPO block chip system. *Folia For.* 467:1—24.

Block chips are a new alternative to traditional fuel chips. The average particle size of block chips made of small-sized timber in this study was length 50—60 mm, width 43 mm and thickness 8,7 mm.

The study describes the making of block chips by the new KOPO PH-10 spiral screw chipper, the energy requirement of chipping, the properties of block chips and their behaviour in infeed and burning. The publication also reports on the experiences of block chip users on the basis of an interview study. The experience gained from the utilisation of block chips for fuel is encouraging and several farms have already chosen block chips as their fuel.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

ODC 363.7:831.1:331
ISBN 951-40-0512-0
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. & KALAJA, H. 1981. KOPO palahakejärjestelmä. Summary: KOPO block chip system. *Folia For.* 467:1—24.

Block chips are a new alternative to traditional fuel chips. The average particle size of block chips made of small-sized timber in this study was length 50—60 mm, width 43 mm and thickness 8,7 mm.

The study describes the making of block chips by the new KOPO PH-10 spiral screw chipper, the energy requirement of chipping, the properties of block chips and their behaviour in infeed and burning. The publication also reports on the experiences of block chip users on the basis of an interview study. The experience gained from the utilisation of block chips for fuel is encouraging and several farms have already chosen block chips as their fuel.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

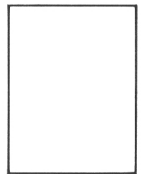
Tilaa kortin kääntäpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

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

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

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:* c/o Joensuun korkeakoulu
c/o Joensuu University
PL 111
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 311

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

- No 447 Uusvaara, Olli: Pelkkahakkureilla tehdyn hakkeen ja sahatavaran pinnan laatu.
Quality of chips and surface of sawn timber made by chipper headrigs.
- No 448 Vuokila, Yrjö: Kasvatustiheyden vaikutus istutuskusikon kasvuun ja tuotokseen.
The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland.
- No 449 Kinnunen, Kaarlo & Mäki-Kojola, Sakari: Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa.
Natural regeneration of Scots pine in western Finland.
- No 450 Isomäki, Antti & Väisänen, Jarmo: Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään.
Thinning method and its influence on the remaining growing stock and on the thinning yield.
- No 451 Varmola, Martti: Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. The external quality of pine plantations.
- No 452 Roiko-Jokela, Pentti: Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa.
The effect of altitude on the forest yield in northern Finland.
- No 453 Pohtila, Eljas & Timonen, Mauri: Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys.
Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland.
- No 454 Gustavsen, Hans Gustav: Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla.
Site index curves for conifer stands in Finland.

- No 455 Salminen, Marja-Liisa: Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä.
Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods.
- No 456 Raitio, Hannu: Pääravinne-lannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla.
Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog.
- No 457 Huttunen, Terho: Suomen piensahat 1980.
Small sawmills in Finland, 1980.
- No 458 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Länsi-Uudenmaan rannikon mäntytukkien ominaisuudet eräällä sahalaitoksella.
Properties of pine logs in a coastal sawmill in southern Finland.
- No 459 Kärkkäinen, Matti: Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet.
Foundations of leaf-seasoning and other drying methods of fuelwood.
- No 460 Metsätalastollinen vuosikirja 1980.
Yearbook of Forest Statistics, 1980.
- No 461 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun kylvökokeita Lapissa.
Sowing experiments with *Betula pendula* in Finnish Lapland.
- No 462 Raulo, Jyrki & Rikala, Risto: Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsitellyillä viljelyalalla.
Initial development of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings planted on a forestation site prepared in different ways.
- No 463 Hyppönen, Mikko: Eräiden metsikönkasvatusvaihtoehtojen edullisuus metsähallituksen Pohjois-Suomen metsissä.
Profitability of some stand growing alternatives in the State forests of northern Finland.
- No 464 Harstela, Pertti & Piirainen, Kimmo: Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mittauksen tarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen.
Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A pilot study.
- No 465 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1978—80.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1978—80.
- No 466 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Pitkän puutavaran esijuonto vinttureilla ja hevosella.
Bunching of timber by winches and horse.
- No 467 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: KOPO palahakejärjestelmä.
KOPO block chip system.
- No 468 Vuokila, Yrjö: Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen.
The growth reaction of young pine stands to the first commercial thinning.
- No 469 Rummukainen, Ukko & Voipio, Pekka: Ahavan tuhot kuusentaimissa Suonenjoen taimitarhalla keväällä 1978.
Winter wind damage on Norway spruce seedlings at Suonenjoki seedling nursery in spring 1978.
- No 470 Hallaksela, Anna-Maija & Nevalainen, Seppo: Juurikäävän torjunta urealla kuusenkannoissa.
Control of root rot fungus (*Heterobasidion annosum*) by treating Norway spruce stumps with urea.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communications Institutii 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.