

# FOLIA FORESTALIA 440

METSÄNTUTKIMUSLAITOS • INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE • HELSINKI 1980

---

---

PENTTI NISULA

NÄKÖKOHTIA POLTTOHAKKEEN  
KUIVAAMISESTA

ASPECTS OF THE DRYING  
OF FUEL CHIPS

---

- 1978 No 368 Kärkkäinen, Matti: Käytännön tuloksia koivuviulun saannosta.  
Empirical results on birch veneer yield.
- No 369 Laitinen, Jorma: Raivaussahojen kantokäsittelylaitteiden vertailu filmianalysillä.  
Comparing clearing saw sprayers with film analysis.
- No 370 Kärkkäinen, Matti: Pienten kuusitukkien mittaus.  
Measurement of small spruce logs.
- No 371 Jalkanen, Risto: Maanpinnan rikkomisen vaikutus korvasienen satoisuuteen.  
Effect of breaking soil surface on the yield of *Gyromitra esculenta*.
- No 372 Laitinen, Jorma: Kuormatraktorin tekninen käyttöaste.  
Mechanical availability of forwarders.
- No 373 Petäistö, Raija-Liisa: *Pblebia gigantea* ja *Heterobasidion annosum* männyn kannoissa hakkuualoilla Suomenniemen ja Savitaipaleen kunnissa.  
*Pblebia gigantea* and *Heterobasidion annosum* in pine stumps on cutting areas in Suomenniemi and Savitaipale.
- No 374 Kalaja, Hannu: Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakurilla.  
Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F.
- No 375 Metsätilastollinen vuosikirja 1977—1978.  
Yearbook of Forest Statistics 1977—1978.
- No 376 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1976—78.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1976—78.
- No 377 Kärkkäinen, Matti: Koivutukkien tarkistusmittauksia.  
Control measurements of birch logs.
- 1979 No 378 Mäkelä, Markku: Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa.  
Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies.
- No 379 Velling, Pirkko: Erilaisten rauduskoivuprovenienssien alkukehityksestä taimitarhalla ja kenttäkokeissa.  
Initial development of different *Betula pendula* Roth provenances in the seedling nursery and in field trials.
- No 380 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Suomen metsävarat lääneittäin 1971—1976.  
Forest resources in Finland 1971—1976 by counties.
- No 381 Hyppönen, Mikko & Norokorpi, Yrjö: Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa.  
The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland.
- No 382 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla.  
Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands.
- No 383 Sirén, Matti, Vuorinen, Heikki & Sauvala, Kari: Pientraktorien heilunta.  
Low-frequency vibration in small tractors.
- No 384 Löytyniemi, Kari & Rousi, Matti: Lehtipuutaimistojen hyönteistuhoista.  
On insect damage in young deciduous stands.
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen.  
Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys.  
Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.
- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuudistusalloilla ja metsite-tyillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76.  
Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesi-myyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv. 1973—76 Suomessa.  
Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.), in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus.  
Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoittamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla.  
Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat.
- No 391 Valtonen, Kari: Loppukäyttötiedot saha- ja puulevyteollisuuden markkinoinnissa.  
End-use information for marketing in sawmill and wood-based panel industries.
- No 392 Isomäki, Antti: Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon.  
The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand.
- No 393 Kurkela, Timo: *Lophodermium seditiosum* Minter et al. -sienen esiintyminen männyn karisteen yhteydessä.  
Association of *Lophodermium seditiosum* Minter et al. with a needle cast epidemic on Scots pine.

FOLIA FORESTALIA 440

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1980

Pentti Nisula

NÄKÖKOHTIA POLTTOHAKKEEN KUIVAAMISESTA

Aspects of the drying of fuel chips

ODC 831.1:847  
ISBN 951-40-0458-2  
ISSN 0015-5543

NISULA, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Abstract: Aspects of the drying of fuel chips. *Folia For.* 440:1—14.

Tutkimuksessa tarkastellaan kaatotuoreen polttohakkeen kuivatusmahdollisuuksia muovihuoneessa ja ulkoilmakatoksessa. Kokeiden mukaan hakkeen kuivumisnopeus oli tuulettamattomassa muovihuoneessa vain hieman nopeampaa kuin ulkoilmakatoksessa. Liikuttelematon hake kuivui selvästi hitaammin kuin pöyhitty hake. Tutkimuksessa tarkastellaan lisäksi lyhyesti polttohakkeen kuivumisen teoriaa ja polton hyötysuhdetta.

---

The drying of fuel chips made from recently felled trees in plastic greenhouse and under cover outdoors was studied. The experiments indicated that the chip drying rate in a closed unventilated plastic greenhouse was only a little faster than in an outdoor shed. Chips that were not stirred dried distinctly more slowly than chips that were shaken up. The report also describes in brief the theory of the drying of fuel chips and the efficiency of burning.

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	4
2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ .....	5
3. TUTKIMUSTULOKSET .....	6
4. POLTON HYÖTYSUHDE .....	11
5. KIRJALLISUUTTA .....	14

## 1. JOHDANTO

Kaatotuoreesta puusta valmistettu hake sisältää usein enemmän puolet vettä, joka lisää kuljetuskustannuksia ja hankaloittaa polttoa. Hake olisi edullisempaa kuljetettavaksi ja poltettavaksi, jos se sisältäisi esim. vain neljänneksen painostaan vettä.

Haihtuminen sitoo teoriassa lämpöenergiaa n. 2 500 joulea (n. 610 kaloria) vesigrammaa kohti, mikä myös vastaavasti vapautuu veden tiivistyessä. Tarvittava lämpöenergia on haihtumista rajoittava tai edistävä tekijä. Haihtuminen luonnollisesti kasvaa, kun ilman kanssa kosketuksessa oleva pinta-ala lisääntyy esimerkiksi saatettaessa puu hakkeen muotoon. Haihtumista voidaan suuresti edistää tuuletuksella, jos se kuljettaa pois kyllästettyä ilmaa ja tuo sijalle kuivempaa. Kuiva ja pyörteinen ilma kiihdyttää haihtumista, kostea ja tyyni ilma puolestaan hillitsee sitä.

Paloitellussa puussa oleva vesi pyrkii aina tasapainotilaan ympäröivän ilman kosteuden kanssa. Veden haihtuminen puusta alkaa höyryn kerääntymisenä hakepalasten pinnalle. Haihtumista ei kuitenkaan tapahdu, ellei hakepalasten pinnalla oleva höyrynpaine ole suurempi kuin ilmassa sillä hetkellä havaittava höyrynpaine. Veden höyrystäminen vaatii lämpöä, ja hakepalasten pinnalta haihtuneen vesihöyryn mukana ilmaan siirtyy myös tapahtumassa tarvittu lämpö. Tällaista kosteaan ilmaan siirtynyttä ja siihen sitoutunutta lämpöä sanotaan latentiksi tiivistymislämmöksi ja se vapautuu, jos vesihöyry muuttuu uudelleen nestemuotoon. Haihtumisolosuhteiden ollessa muuten edullisia alhainen ilmanpaine jouduttaa haihtumista.

Puutavaran keinokuivauksessa kuivuminen on sitä nopeampaa, mitä korkeampi on lämpötila ja mitä alhaisempi ilman kosteus. Molemmat tekijät vaikuttavat haihtumiseen pinnalta, mutta veden siirtymiseen puun sisällä vaikuttaa vain lämpötila (I s o m ä k i 1964).

I m m o n e n (1961) selvitteli hakkeen kuivumista kesän aikana suurissa kumpu-  
maisissa avokasoissa ja havaitsi, ettei kos-

teudessa yleisesti ottaen tapahtunut suuria-  
kaan muutoksia paitsi, että kuivan pinta-  
kerroksen alle muodostui märempi kerros,  
jonka paksuus vaihteli 0,5—1,7 m.

Haketta keinotekoisesti kuivattaessa on hakepalaset tavalla tai toisella hyvä saattaa kuivan ilmavirran huuhdeltaviksi. Muutamia tällaisia kokeita on tehtykin. M m . B e i j b o m (1959) esittelee Ruotsissa tehdyn kokeen, jossa haketta kuivattiin ladon tapaisessa rakennelmassa. Hakevaraston läpi johdettiin pystysuoria raitisilmakanavia. Tämä vapaakiertoinen tuuletus alensi hakkeen kosteuden neljän kesäkuukauden aikana 20—25 %:iin.

Meillä A i t t o m ä k i (1963) selvitteli polttihakkeen ja pilkkeiden (saheen) kuivamista puhaltamalla moottorituulettajalla ulkoilmaa kostean hakkeen läpi. Tällöin hän otti esimerkiksi Ruotsissa aikaisemmin saadut tulokset heinän kuivaamisesta puhaltamalla ja päätyi ehdotukseen kuivata teollisuushaketta vastavirtaperiaatteella toimivalla kuivausjärjestelmällä, jossa puhallettaessa ilmaa ylöspäin — kuivaussiilon alaosasta jatkuvasti poistetaan kuivaa haketta ja yläosaan lisätään märkää haketta. Hän mainitsee, että käyttämällä hyväksi kuivausilman koko vedenhaiduttamiskyky, on siilon alaosasta helposti saatavissa 20 %:n kosteusasteista haketta.

Välittömän aurinkoenergian hyväksikäytön tehostamista sovelsivat mm. M a l d o n a d o ja P e c k (1962) keinokuivamalla puutavaraa eräänlaisessa muoviseinin varustetussa ladossa Puerto Ricossa. Myöhemmin teki P e c k (1962) lisäkokeita käyttämällä kuivauksessa keinotuuletusta apuna.

Suomalaiset ovat todennäköisesti olleet ensimmäisinä ottamassa käyttöön muovihuoneita ja niitä on meillä käytetty pääasiassa kasvituotannossa ja varastoina. Aurinkoisella säällä niiden lämpöenergian varastoimiskyky on varsin huomattava.

Ruotsalainen M a t t s s o n (1976) on selvitelty mahdollisuuksia muovihuoneen päivällä tuottaman lämpöenergian siirtämises-

sestä vesiboileriin ja tämän lämpövaraston käyttämistä yöaikana saman huoneen lämmitykseen. Kokeen aikana saatiinkin huoneen lämpötila yöllä nousemaan 18 °C.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on orientoivasti selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi kuivata poltto-

puuksi tarkoitettua haketta muovihuoneessa.

Metsätyönjohtaja Jussi Korhonen on huolellisesti suorittanut aineiston keräämisen ja sen laskennallisen käsittelyn. Piirrookset on puhtaaksi piirtänyt Leena Muronranta. Käsikirjoituksen ovat lukeneet tj. Jussi Korhonen ja professorit Lauri Heikinheimo ja Pentti Hakkiila.

Kiitän saamastani avusta.

## 2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄ

Perusaineistona käytettiin Keuruulta saatua koivupienpuusta valmistettua kokopuuhaketta, joka ajettiin välittömästi haketuksen jälkeen tutkimuspaikalle Metsäntutkimuslaitoksen Suomenjoen taimitarhalle. Tämän sateella tehdyn hakkeen paino ja kosteus jakaantuivat seuraavasti:

Puun osa	Osuus tuorepainosta, %	Kosteus, %
Runkopuu	58	47
Oksat	15	52
Lehdet ja irto-kuori	27	68
Kaikkiaan	100	56

Myöhemmin hankittiin vielä lisähaketta, josta ensin osa oli koivua, lopun jakaantuessa pajun ja leppäosalle. Tämän hakkeen alkukosteus oli 48 %.

Hakkeen ohella koekuivattiin pieni erä kaatotuoretta halkaistua koivuhalkoa, jonka alkukosteus oli 41 %.

Pääkuivauspaikkana käytettiin puukaarista muovihuonetta, jonka pituus oli 60 m, leveys 16 m, korkeus 6 m ja tilavuus 4 200 m<sup>3</sup>. Huone oli tyhjä ja kuiva. Kokeet sijoitettiin maatasoon huoneen hiekkapohjalle. Kokeen aikana ovet pidettiin suljettuina ja ilmanvaihtoa tapahtui vain päädyistä auki olevien tuuletusluukkujen kautta.

Sivukuivauspaikkana käytettiin 13 × 15 m suuruista — 2,70 m korkeata — vaakakattoista, etelään päin avautuvaa esittelytilaa, jonka kolme sivuseinää olivat auki. Katos sijaiti tuulisella paikalla. Tähän kokeet sijoitettiin keskellä katosta oleville pöydille eli n. 1 m:n korkeudelle maanpinnasta. Kokeet sijaitsivat katon alla auringolta varjossa, eikä sade yltänyt niihin.

Kuivumista seurattiin lämpötilan (d.d.-summa) ja vapaasta vedenpinnasta tapahtuvan haihtumisen avulla.

Sekä pääkuivauspaikalle muovihuoneeseen että sivukuivauspaikalle ulkokatoksen sijoitettiin vesi- ja hakemateriaali kuivumaan 40 × 50 × 16 cm suuruisiin styroxlaatikoihin:

1. 10 kpl vesilaatikoita
2. 10 kpl sekoittamattoman hakkeen laatikoita
3. 5 kpl sekoitushakelaatikoita
4. 5 kpl kääntöhakelaatikoita
5. 5 kpl kolmen laatikon kerroslaatikoita
6. 5 kpl tyhjiä laatikoita

Näihin vesilaatikoihin (1.) punnittiin 12 kg vettä, rivien 2.—4. laatikoihin 5 kg haketta ja rivin 5. laatikoihin 7 kg haketta kuhunkin laatikkoon.

Kokeen aikana seurattiin laatikoissa olevan materiaalin painon vähenemistä. Vesilaatikoista saatiin arvoja vapaasta vedenpinnasta tapahtuvan haihtumisen suuruudesta. Sekoitushakelaatikoista (rivi 3) hake kaadettiin viikottain muovikalvolle, jossa se perusteellisesti sekoitettiin ja pantiin sitten uudestaan entiseen laatikkoon kuivumaan. Kääntöhakkeen (rivi 4) laatikoista hake kumottiin viikottain vaihtolaatikkoon, sitomalla laatikot vastakkain ja suorittamalla äkinäinen ylösalaisin kääntäminen laatikon pitkän sivun suunnassa. Tällöin hake putosi päälle laatikosta toiseen. Kerroslaatikoissa (rivi 5) oli kolme hakelaatikkoa päällekkäin, mutta kahdessa päällimmäisessä oli pohja korvattu tiheällä karpäsvetkolla. Näissä laatikoissa seurattiin hakkeen kuivumista paksumpana eli kolmen laatikon kerrostamana.

Muovihuoneessa laatikot sijoitettiin tasaisten välimatkojen päähän toisistaan pitkin huonetta. Ulkokatoksessa ne asetettiin samaan tapaan vierekkäin kahdelle pöydälle, kuten edellä jo mainittiin.

Ennen laatikoihin jakoa hake homogenisoitiin moneen kertaan ristiin sekoittamalla. Ylijäämahake levitettiin muovihuoneeseen muovin päälle ja aurattiin perunapenkin vakoja muistuttaviksi harjanteiksi. Viikon välein harjanteet karhettiin uusiksi harjanteiksi auralamalla ne keskeltä kahtia, jolloin uuden sivulle muodostuneen harjanteen huippu tuli entisen vaon pohjan kohdalle. Harjanteista otettiin sitten umpimähkäisesti kosteusnäytteet viikon välein. Tällä tavalla käsiteltyä haketta on nimetty karhetuksi hakkeeksi. Vielä myöhemmin kesällä Joroisista koepaikalle hankittu lisähake levitettiin muovihuoneeseen samalla tavoin harjanteiksi ja käsiteltiin jatkossakin muuten samoin.

Halot varastoitiin ristikolle muovihuoneeseen ja katokseen.

Koemateriaalin painon muutoksia seurattiin jatkuvin punnituksin. Tarpeen tullen otettiin kosteusnäytteitä.

### 3. TUTKISMUSTULOKSET

Kuvasta 1 nähdään lämpö- ja haihtumis-  
summan kehitys kalenteriaikana 6.7.—15.9.  
1978. Katoksessa mitattu lämpösomma seu-  
rasi lähimain sääaseman arvoja.

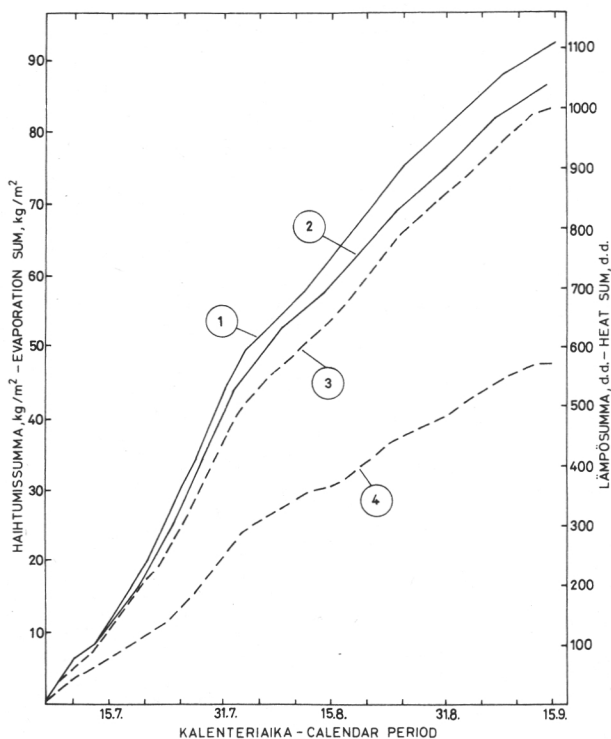
Vaikka lämpötila muovihuoneessa on ol-  
lut huomattavasti suurempi ja se on luonnol-  
lisesti pitänyt myös haihdutettavan veden  
lämpötilaa muovihuoneessa korkeammalla  
kuin katoksessa, voidaan kuvan 1 perusteella  
havaita, että vapaasta vedenpinnasta tapahtu-  
nut kokonaishaihtuminen ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) on hei-  
näkuusta syyskuun puoliväliin mennessä jää-  
nyt avomaalla vain pari kiloa eli vajaat 5 %  
pienemmäksi kuin muovihuoneessa. Vapaas-  
ta vedenpinnasta tapahtuva haihtuminen  
näyttää korreloituvan sekä katoksessa että  
muovihuoneessa muovihuoneen lämpösom-  
man kanssa paremmin kuin sääaseman läm-  
pösomman kanssa. Muovihuoneen läm-  
pösommalla on siis helpompi selittää katokses-  
sa ja muovihuoneessa haihtumissumman  
( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) kehitystä kuin sääaseman läm-  
pösommalla.

Katoksen ja muovihuoneen haihdunta-  
summan lähimainen samansuuruisuus voita-  
neen ymmärtää erilaisten tuuliolosuhteiden  
perusteella.

Muovihuoneessa varsinaista tuulta ei  
esiintynyt, ainoastaan lämpötilan muutok-  
sista johtuvia ilmavirtauksia. Sen sijaan ka-  
tokseen tuuli pääsi vaikuttamaan melko va-  
paasti. Näin ollen tuulisessa ulkoilmakatok-  
sessa saattaa kuivuminen tapahtua melkein  
yhtä joutuisasti kuin sitä huomattavasti läm-  
pimämmässä mutta tuulelta suojatussa muo-  
vihuoneessa. Jos muovihuoneeseen johdet-  
taisiin voimakas tuuletus, tulokset olisivat  
varmaankin toisenlaisia.

Muovihuoneen lämpösomman yksikköä  
kohden laskettuna haihtuminen vapaasta ve-  
denpinnasta oli kahden kuukauden aikana  
6.7.—6.9.1978

muovihuoneessa  $93 \text{ g}/\text{m}^2/\text{d.d.}$  aste ja  
katoksessa  $88 \text{ g}/\text{m}^2/\text{d.d.}$  aste



Selitys — Legend:

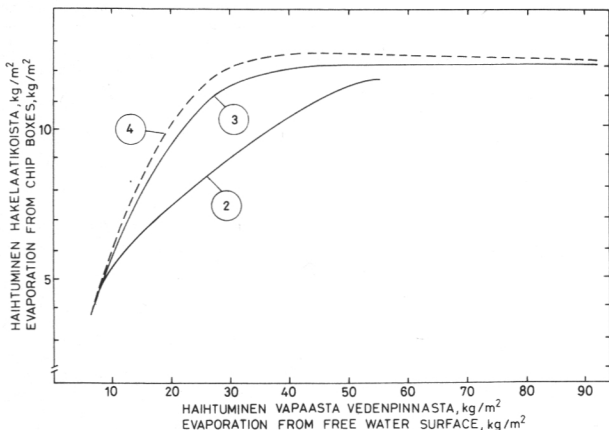
Haihtumissumma — Evaporation sum  
1. Muovihuoneessa,  $\text{kg}/\text{m}^2$  — In plastic greenhouse,  $\text{kg}/\text{m}^2$   
2. Katoksessa,  $\text{kg}/\text{m}^2$  — Under cover,  $\text{kg}/\text{m}^2$

Lämpösomma — Heat sum  
3. Muovihuoneessa, d.d. — In plastic greenhouse, d.d.  
4. Sääasemalla, d.d. — At weather station, d.d.

Kuva 1. Vapaasta vedenpinnasta tapahtu-  
neen haihtumissumman ja lämpösomman  
kehitys Suonenjoella.

Fig. 1. Development of evaporation sum  
from free water surface and of heat sum  
in Suonenjoki.





Vastaavasti avomaan lämpösunnan yksikköä kohden laskettuna oli tulos seuraava:

muovihuoneessa 162 g/m<sup>2</sup>/d.d. aste ja katoksessa 153 g/m<sup>2</sup>/d.d. aste

Kun koko kesän lämpösunnaksi Suomenjoen sääasemalla saatiin avomaalla 1.5.—31.9.1978 välisenä aikana 1117 d.d. ja n.s. tutkimusmuovihuoneessa samana aikana 1 858 d.d, voidaan arvioida, että kokonaishaihtuminen vapaasta vedenpinnasta olisi sääasemalla saattanut kesän 1978 aikana olla seuraavaa suuruusluokkaa: muovihuoneessa 173 kg/m<sup>2</sup> ja katoksessa 164 kg/m<sup>2</sup>.

Tekijän aiemmin laboratorio-olosuhteissa saaman tuloksen mukaisesti (Nisula 1974) kun haihtuminen vapaasta vedenpinnasta vuorokautta kohden laskettuna oli 4,1 kg/m<sup>2</sup> — on saatu koivupuisen kappaleen poikkileikkauksipinnasta tapahtuvan puhtaan kapillaarisen haihtumisen suuruudeksi 12,6 kg/m<sup>2</sup>, ja puhtaan diffuusisen haihtumisen suuruudeksi vain 0,4 kg/m<sup>2</sup>. Tämän mukaisesti hyvin kostean hakkeen alkukuivuminen saattaa olla ripeätä, mutta hakepinnan kuivettua ja diffuusisen haihtumisen päästyä käyntiin kovin hidasta. Tämä voidaan nähdä kuvista 2 ja 3.

Kuvasta 2 nähdään miten hakkeen alkukuivuaus käy nopeasti mutta vaimenee nopeasti, ensimmäisenä sekoittamattoman hakkeen laatikoissa (2). Ei näytä olevan kovin suurta merkitystä sekoitettiin (3) laatikoissa ollut hake perusteellisesti vai suoritettiin vain hakekerroksen kääntäminen (4).

Koe osoittaa selvästi, miten liikuttelematon hakepinta muodostaa tehokkaan kuivumisesteen syvemmällä oleville hakepalasille.

Kuvan 3 perusteella havaitaan edelleen,

Selitys — Legend:

Hakelatikat — Chip boxes

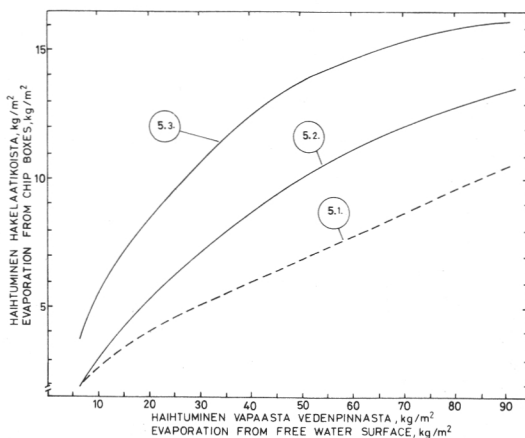
2. Sekoittamaton hake — Unmixed chips
3. Sekoitettu hake — Mixed chips
4. Käännetty hake — Shaken chips

Kuva 2. Haihtumisen kulku muovihuoneessa vapaasta vedenpinnasta ja hakelaatikoista, joihin oli sijoitettu kuivumaan viherhaketta 25 kg/m<sup>2</sup>. Hakkeen alkukosteus oli 56 %.

Fig. 2. Course of evaporation in plastic greenhouse from free water surface and chip boxes in which 25 kg/m<sup>2</sup> of green chips were left to dry. The initial moisture of the chips was 56 %.

miten syvemmällä oleva hake kuivuu liikuttelemattomassa kasassa alaspäin mentäessä yhä hitaammin; kuivumisen kokonaiskulku kerros kerrokselta alaspäin sujuu yhä vaikeammin, eikä läheskään niin ripeästi kuin sekoitetussa (3) tai käännettyssä (4) hakkeessa (kuva 2).

Kuvan 2 ja 3 esittämissä vastaavanlaisissa tapauksissa katoksessa kuivumisen kulun kuvaaja on samanmuotoinen, mutta lukuvoiltaan hieman alhaisempi samaan tapaan kuin oli veden haihtumisen kulun kuvaaja kuvassa 1.



Kuva 3. Haihtumisen kulku muovihuoneessa vapaasta vedenpinnasta ja kerroksittain asetetuista hakelaatikoista, joissa kussakin oli kuivattua haketta 35 kg/m<sup>2</sup>. Hakkeen alkukosteus oli 56 %. Keskimmäisen ja ylimmäisen laatikon pohja oli verkkorakenne.

Fig. 3. Course of evaporation in plastic greenhouse from free water surface and from stacked chip boxes each of which contained 35 kg/m<sup>2</sup> of dried chips. The initial moisture of the chips was 56 %. The midmost and topmost boxes had mesh bottoms.

Kun sekoittamattoman hakkeen laatikoista (2) otettiin kokeen päättyessä kosteusnäytteet, saatiin seuraavat tulokset:

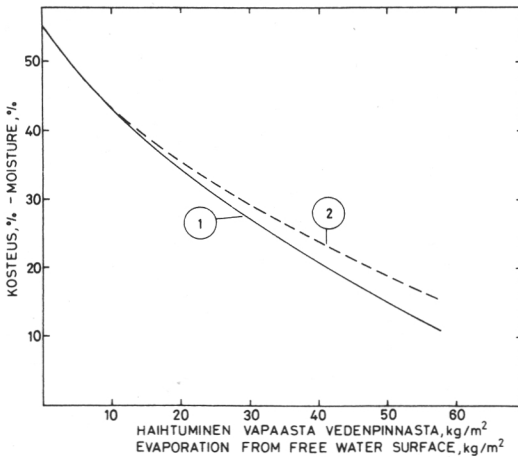
Näyte	Muovihuone Kosteus, %	Katos
yläpinnasta	8,6	10,5
keskeltä	13,2	17,3
pohjasta	19,3	26,1

Kosteus kasvaa hakelaatikon pohjaa kohti. Kosteuden on siis laatikon alaosasta kuljettava kuivemman hakekerroksen läpi. Tämä voi tapahtua vain vesihöyryn muodossa, diffuusisesti. Tuulen ja ilman liikkeiden vaikutus hakelaatikon alempiin kerroksiin on vähäinen suojaavan hakepinnan takia.

Kuvissa 4 ja 5 esitetään sekoittamattoman hakkeen (2) kosteuden kulku koeaikana muovihuoneessa ja katoksessa. Noin kuukauden kuluttua kokeen aloittamisesta (vrt. kuva 1) kosteus laski muovihuoneessa 10 %:iin ja katoksessa 15 %:iin tasoon. Sopivan polttokosteuden — 30 % — saavuttamiseksi on tarvittu aikaa vajaat kolme viikkoa. Sen sijaan karhetun hakkeen kuivumisen, joka nähdään kuvasta 6 sujui huomattavasti joutuisammin. Keuruun hakkeessa kosteus laski alkukosteudesta 56 %:sta 30 %:iin n. kahdeksassa päivässä ja Joroisten hakkeessa samoin 48 %:sta 30 %:iin n. viidessä päivässä. Käytännössä tämä saattaisi merkitä mahdollisuutta, että muovihuoneeseen voitaisiin joka viikko ottaa sisään uusi noin 25 cm paksu hakekerros kaatuoiretta haketta. Näin voitaisiin kesän kuluessa muovihuoneen yhtä neliometriä kohden kuivata ehkä  $15 \times 0,25 = 3,75 \text{ m}^3$  haketta 30 %:n kosteustasoon. Hakkeen kuivumista voitaisiin jouduttaa suorittamalla karheiden kääntäminen useammin, esimerkiksi päivittäin ja järjestämällä huoneeseen keinotekoinen tuuletus.

Koska muovihuoneen ja katoksen välillä ei ole havaittu kovin suuria eroja kuivatuksessa, voitaneen haketta karheamalla ja kääntämällä ulkokatoksessakin saavuttaa lähimain samantapaisia tuloksia kuin nyt muovihuoneessa.

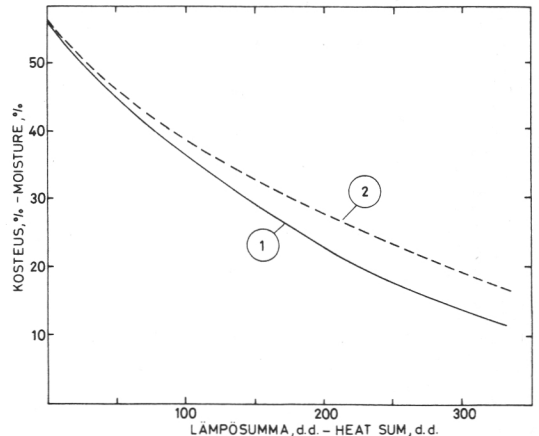
Karheamalla kuivatettava hake perunapenkien tapaiseen muotoon, voidaan sen kuivauspinta-ala lisätä melkein kaksinkertaiseksi. Harjanteilla olevan hakkeen sisäinen tuuletus lienee myös huomattavasti vilkkaampaa kuin tasopinnaksi varastoidun hakkeen.



Selitys — Legend:  
1. Muovihuone — Plastic greenhouse  
2. Katos — Shed

Kuva 4. Sekoittamattoman hakkeen kosteuden ja vapaasta vedenpinnasta tapahtuneen haihtumisen välinen riippuvuus.

Fig. 4. Correlation between the moisture of unmixed chips and evaporation from free water surface.

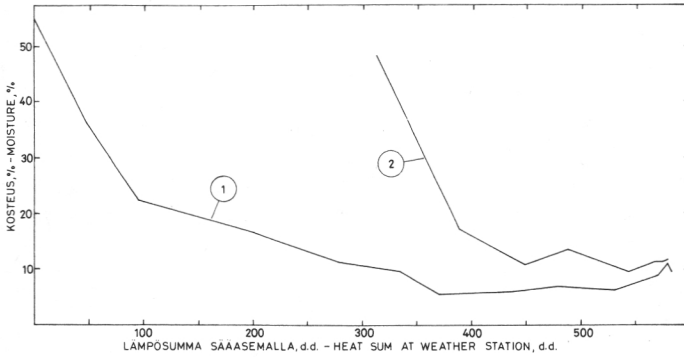


Selitys — Legend:

1. Muovihuone — Plastic greenhouse
2. Katos — Shed

Kuva 5. Sekoittamattoman hakkeen kosteuden ja sääaseman lämpösunnan välinen riippuvuus.

Fig. 5. Correlation between the moisture of unmixed chips and the weather station heat sum.



Selitys — Legend:

1. Keuruun hake — *Keuruu chips*
2. Joroisten hake — *Joroinen chips*

Kuva 6. Perunapenkin vakoja muistuttavaksi karheeksi vedetyn viherhakkeen kosteuden ja lämpösunnan välinen riippuvuus.

Fig. 6. Correlation between the moisture of green chips stored in furrow-like formation and the heat sum.

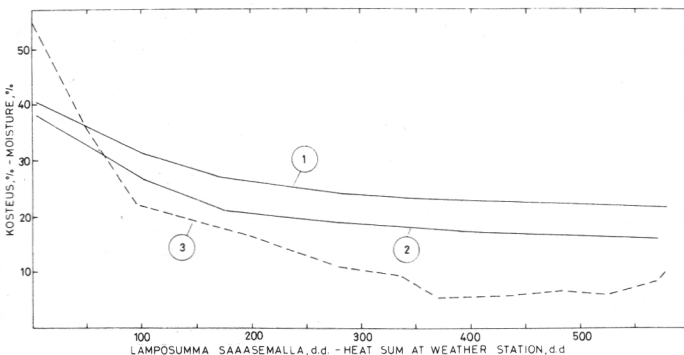
Kuvasta 7 nähdään, että halko kuivuu huomattavasti vaimeammin kuin karhettu hake. Tämä johtuu lähinnä haihduttavan pinnan laadusta ja suuruudesta. Hakkeen muodossa olevan puun haihduttava pinta on tietysti aina suhteellisesti sitä suurempi, mitä pienemmiksi palasiksi hake on pilkottu. Alla oleva asetelma havainnollistaa tätä. Kun 1 m<sup>3</sup>:n suuruinen yhtenäinen puukimpale haketetaan kooltaan 30, 20.....0,2 cm<sup>3</sup>:n palasiksi, jotka oletetaan ensin kuutionmuotoisiksi ja sitten sellaisiksi lituskaisiksi paloiksi, joiden lapepintojen särmit ovat kymmenen kertaa pitempiä kuin lituskan korkeus, on pilkotun puun vaippapinta-alan suhteellinen määrä asetelman mukainen, jos 1 m<sup>3</sup>:n vaippapinta-ala merkitään arvolla yksi (= 1).

Kun kiinteä puukappale pilkotaan hakkeeksi, kasvaa sen vaippapinta-ala nopeasti. Kuivatuksen kannalta tällä on merkitystä sikäli, että näin myös puun kuivatusedellytykset lisääntyvät, kun kuiva ilma pääsee virtaamaan hakepalasten lomitse tai hakepalaset voidaan ohjata kuivaavaan ilmavirtaan, joka huuhtelee niitä joka puolelta.

Aumoihin varastoidun hakkeen kuivuminen on hidasta, koska hakevaippa estää sen alapuolella olevan hakkeen kuivumista. Varustamalla auma tuuletuskanavilla tai pakkotamalla tuuletusilmaa keinotekoisesti hakemassan läpi voidaan auman sisällä oleva vesihöyryllä kyllästynyt ilma vaihtaa kuivaan tuuletusilmaan, ja auman sisälläkin oleva hake voi kuivua. Tällaisia keinoja onkin käytännössä kokeiltu.

Mitä voimakkaammin tuulivirtauksen huuhdeltavaksi hakepalaset saatetaan, sitä nopeampaa on kuivuminen. Paremman mielikuvan saamiseksi tästä seikasta suoritettiin laboratoriossa seuraava koe. Täysin kosteaksi kyllästetyt hakepalaset, joista pinnalla oleva irtokosteus oli imeytetty pois, asetettiin pyörimään kuvan 8 mukaiseen koepenkkiin. Terän pyörimisnopeuden perusteella laskettiin hakepalasia huuhtovan ilmavirtauksen (= tuulen) nopeus. Tulokset esite-

Hakepalasen koko, cm <sup>3</sup>	Hakepalasten vaippapinta-alojen suhteelliset arvot, kun hakepalaset ovat	
	kuutioita	lituskoja
30	32	59
20	37	68
10	46	86
5	58	109
2	80	147
1	100	186
0,5	126	234
0,2	170	318



Selitys — Legend:

1. Halot katoksessa — *Firewood billets under cover*
2. Halot muovihuoneessa — *Firewood billets in plastic greenhouse*
3. Hake muovihuoneessa — *Chips in plastic greenhouse*

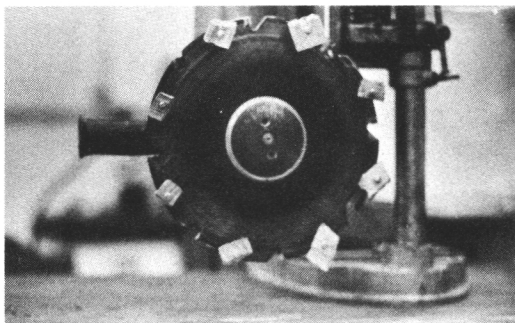
Kuva 7. Ristikoitujen halkojen (1 ja 2) ja karhetun hakkeen (3) kuivumisen kulku.

Fig 7. Drying of firewood billets stacked crosswise (1 and 2) and furrowed chips (3).

tään kuvassa 9. Ilman suhteellinen kosteus oli kokeen aikana 14 % ja lämpötila 20 °C.

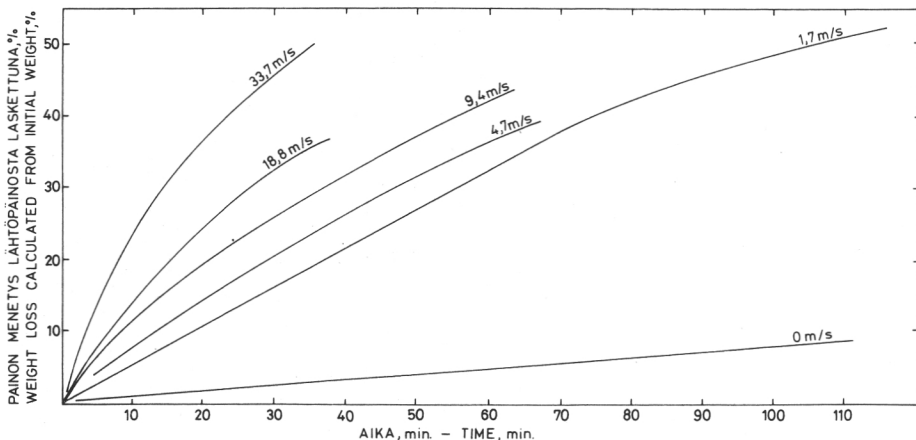
Kuvasta nähdään selvästi tuulen nopeuden edullinen vaikutus hakepalasten kuivumiseen. Suurimmalla käytetyllä nopeudella — 33,7 m/s — saatiin kosteus laskemaan alkuperäisestä 62,8 %:sta 30 %:iin vajaassa 15 min:ssa, kun hitaimmalla nopeudella — 1,7 m/s — saman asteinen kuivaus vaatisi lähes neljä kertaa enemmän aikaa. Tuulettomassa tilassa — 0 m/s — hakepalaset ovat tunnin aikana haihuttaneet vain 5 % painostaan.

On siis mahdollista saattaa hakepalaset voimakkaaseen ilmavirtaukseen ja sillä tavoin vähentää nopeasti niissä olevaa kosteutta. Lisäämällä vielä kuivausilman lämpötilaa voidaan kuivaustehoa lisätä. Bacho Ventilation on tämän tapaiseen ajattelutapaan perustuen kehittänyt kuorenkuivurin,



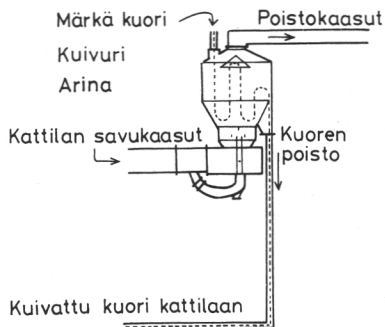
Kuva 8. Hakepalasten kuivauksessa käytetty koe-  
penkki.

Fig. 8. Test bed used for drying chips particles.



Kuva 9. Hakepalasten kuivuminen koepenkissä erinopeita (m/s) ilmavirtauksia käytettäessä. Hakkeen alkukosteus oli 62,8 %.

Fig. 9. Drying of chips particles in test bed with air currents of differing speeds (m/s). The initial moisture of the chips was 62,8 %.



Kuva 10. Kuoren kuivaussysteemin (Bacho Ventilation) toimintaperiaate.

Fig. 10. The working principle of the bark drying system (Bacho Ventilation).

joka käyttää kattilan omia savukaasuja kuoren kuivaukseen (Ö h m a n 1979), kuva 10. ”Märkä kuori johdetaan kuivausrummun sivusta sisään. Tästä kuori varisee kohti kuivurin keskustaa ja kohtaa ylöspäin nostavan voimakkaan savukaasuvirran. Kaasu/kuorivirta lentää ylöspäin kohti heijastinlevyä ja putoaa kuivurin sivulle, noustakseen uudelleen ylös kaasuvirran (kaskadin) mukana. Kierrettyään kuivurissa pari minuuttia kuori poistuu kuivausrummun alaosasta ja johdetaan kuorikuljettimelle, joka vie kuoren kattilaan.” Tällä menetelmällä on saatu kuoritonista 10—15 % enemmän energiaa ja kattilan polttokapasiteettia on voitu nostaa 40 %. Samantapaista menetelmää voitaisiin ehkä käyttää hakkeen polton yhteydessä tai mukailtuna ehkä hakkeen ulkomakuivauksenkin yhteydessä.

#### 4. POLTON HYÖTYSUHDE

Kun puun kosteus lisääntyy, sen polttaminen vaikeutuu. Tosin kattilalaitokset voidaan suunnitella määrän puun polttamista varten ja saavuttaa näin verrattain korkea hyötysuhde. Vuorelaisen (1958) mukaan saatiin etupesäkattilayhdistelmällä 61—66 %:n hyötysuhde hakkeen kosteudella 53,1—62,8 %. 29—40 prosenttia kostealla hakkeella saavutettiin 80—85 %:n hyötysuhde. Suurissa kattilalaitoksissa voitiin haketta yleensä polttaakin viimeksi mainitulla suuremmalla hyötysuhteella. Pienissä keskuslämmityskattiloissa saattaa sen sijaan hyötysuhde jäädä 55—65 %:n tasoon. Vertailun vuoksi mainittakoon, että suurimassaisten huoneuunien hyötysuhde voi olla 80—85 %, mutta avotakan vain 25—40 %.

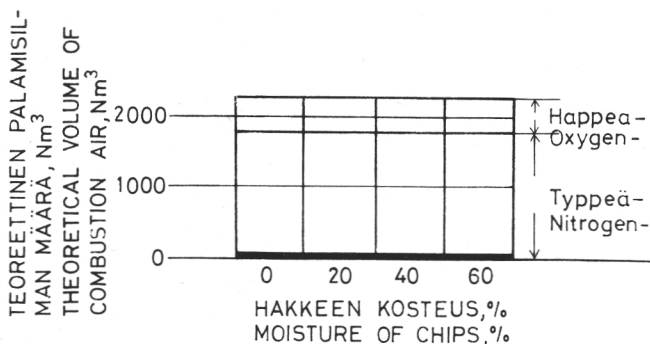
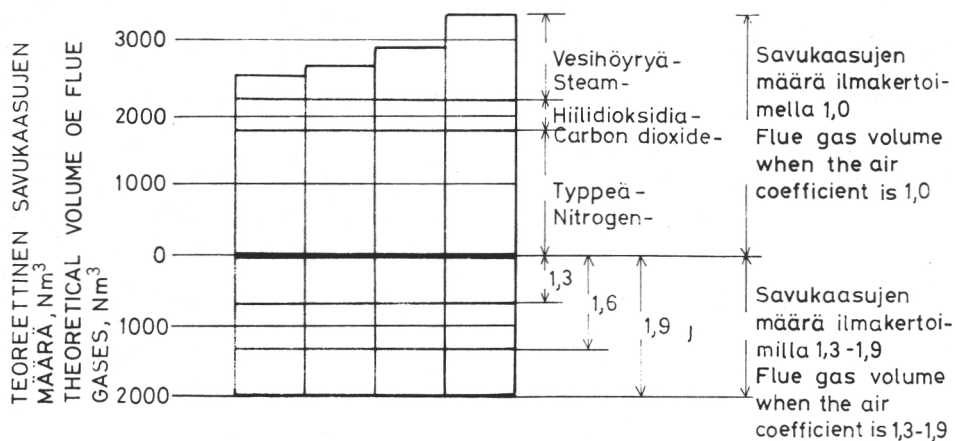
Hyötysuhde on sitä korkeampi, mitä vähemmän lämpöä pääsee karkaamaan lämmitysobjektin ulkopuolelle lämmityslaitteiden

kautta. Tätä puolta asiasta tarkastellaan teoreettisten laskelmien avulla:

Kuvissa 11—13 esitetään tuloksia, jotka on saatu käyttämällä Tekniikan käsikirjan taulukoita (Hirn 1937) ja Hakkilan (1978) laskemia lämpöarvoja koivukokopuuhaikkeelle, jonka täysin kuivan massan laskettiin olevan 475 kg kiintokuutiometriä kohden.

Kuvassa 11 esitetään tämän koivuhakkeen kiintokuutiometrin polttamisessa teoreettisesti tarvittava ilmamäärä ja sen poltossa syntyvät savukaasut normaalikuutiometrinä.\*)

\*)Yhtä kaasukuutiometriä 0 °C lämpötilassa ja 760 mm elohopeapatsaan paineessa nimetään normaalikuutiometriksi ja merkitään Nm<sup>3</sup>.



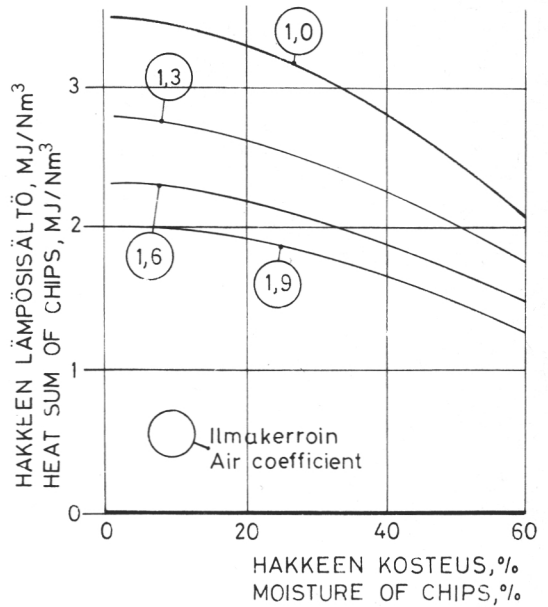
Kuva 11. Yhden koivuhakekuutiometrin polttamisessa tarvittavan palamisilman ja savukaasujen määrä.

Fig. 11. Volume of combustion air and flue gases needed for the burning of 1 m<sup>3</sup> of birch chips.

Kun poltossa käytetään ilmaylimäärää, joka käytännössä vaihtelee esimerkiksi 1,2—1,8 välillä, laimenevat väkevät savukaasut vastaavasti polttoilmalisän takia.

Kuvasta ilmenee, miten hiilidioksidin, typhen ja ylimääräilman osuus savukaasuissa pysyy samansuuruisena riippumatta hakkeen kosteudesta. Sen sijaan vesihöyryn määrä kasvaa edettäessä täysin kuivasta hakkeesta märkään päin. Vesihöyry on massaltaan (0,804 g/Nm<sup>3</sup>) keveämpää kuin hiilidioksidi (1,964 g/Nm<sup>3</sup>) ja typpi (1,250 g/Nm<sup>3</sup>), mutta vesihöyryn lämpösisältö on sen sijaan huomattavasti suurempi (esim. lämpötilassa 150°C = 2,745 MJ/kg) kuin savukaasun muiden osien (esim. lämpötilassa 150 °C = 0,23 MJ/kg). Tästä aiheutuukin, että kattilasta karkaavissa savukaasuissa suurin osa lämpösisällöstä on sitoutuneena vesihöyryyn, vaikka vesihöyryn tilaosuus savukaasuista onkin vähäisempi.

Alla olevaan asetelmaan on laskettu 150-asteisena karkaavien savukaasujen lämpösisältö jaettuna vesihöyryn ja muiden savukaasujen osalle käytettäessä ilmakerrointa 1.0.



Kuva 12. Harvennushakkuissa saadusta koivusta valmistetun kokopuuhakkeen lämpösisältö eri ilmakerroimilla.

Fig. 12. Heat content at different air coefficients of whole-tree chips made of birch thinnings.

Savukaasujen osa	Hakkeen kosteus, %							
	0	20	40	60	Savukaasujen suhteellinen lämpösisältö 150-asteisena (sulussa niiden tilavuus), %			
Vesihöyry	58	(12)	67	(17)	76	(24)	84	(35)
Muut	42	(88)	33	(83)	24	(76)	16	(65)
Kaikkiaan	100	(100)	100	(100)	100	(100)	100	(100)

Mitä kosteampaa hake on, sitä kosteampia ovat myös savukaasut ja sitä suurempi osa niiden lämpösisällöstä karkaa vesihöyryyn sitoutuneena.

Kuvasta 12 nähdään hakkeen kosteuden vaikutus savukaasujen keskimääräiseen lämpösisältöön eri ilmakerroimia käytettäessä. Laihimpien savukaasujen lämpösisällön siirtäminen hyödylliseen käyttöön vaatii kehittyneempää tekniikkaa kuin väkevien savukaasujen hyväksikäyttö. Kun kosteaa puuta poltetaan suurella ilmaylimäärällä, joka kostean puun kohdalla on välttämätöntä, saadaan laihoja savukaasuja.

Koska pääosa savukaasujen lämmöstä siirtyy kattilaveteen tehokkaimmin säteilemällä kattilan seinien kautta, olisi edullista, että puu palaisi kattilassa mahdollisimman

kuumalla liekillä. Tämä on kuitenkin vaikeaa laihoja savukaasuja käytettäessä. Tämän takia kattilan konvektiopinnat on pyritävä tekemään kosteaa puuta käytettäessä isoiksi. Konvektiopintoja lisäämällä ja pitämällä ne puhtaina on mahdollista saada tulipesästä karkaavista savukaasuista käyttöön suurempi lämpöosa.

Käyttämällä esim. pakoputkityyppisiä metallitorvia voidaan savukaasut jäähdyttää jopa alhaisiin lämpötiloihin ja saada haluttaessa polton hyötysuhde näin nousemaan. Lämmityslaitoksen tekninen rakenne vaikuttaa siis oleellisesti hyötysuhteeseen. Voidaan jopa lähteä siitä, että polttoaineen kosteudella ei ole sanottavaa merkitystä syttymislämpötilan yläpuolella, jos lämpösisällön kiinnispeppauspinnat ovat mitoitetut ja rakenne-

tut asiaan kuuluvalla tavalla.

Kuitenkin kuivan polttoaineen käsittely on helpompaa, se palaa paremmin ja tasaisem- malla liekillä ja se aiheuttaa vähemmän huoltoa, esim. nuohousta kuin märkä polt- toaine.

Märkää polttoainetta voidaankin käyttää suhteellisen edullisesti suurissa kattilalaitok- sissa, mutta pienkattiloissa on kohtuullista pyrkiä kuivemman polttoaineen käyttöön.

Kuvaan 13 on laskettu esimerkinomaisesti, kuinka paljon haketta joudutaan poltta- maan karkaavien savukaasujen lämpösisäl- lön korvaamiseksi. Kuvan perusteella voi- daan päätellä, että mitä kuumempia tai mitä mämpiä savukaasut ovat, sitä enemmän niiden mukana karkaa lämpöä hukkaan.

Jos esimerkin kohteena käsiteltyä, sivulla 11 mainittua koivukokopuuhaketta poltet- taisiin pienkiinteistökattilassa 15 000 kcal/h- teholla ja hakkeen kosteus olisi 60 %, muo- dostuisi hakekiintokuutiometrin poltto aika 116 tunnin pituiseksi. Samanaikaisesti ke- hittyisi teoriassa savukaasuja 3431 Nm<sup>3</sup>.

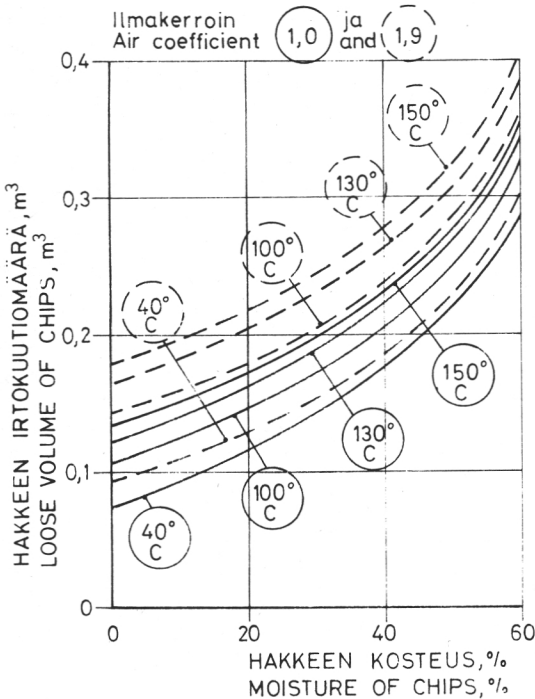
Kun samalla teholla poltettaisiin kosteu- deltaan erilaisia hakkeita, saataisiin alla ole- vassa asetelmassa esitetyt muut teoreettiset savukaasumäärät. Asetelmaan on myös las- kettu savukaasujen suhteelliset viipymääjat.

	Hakkeen kosteus, %			
	0	20	40	60
Polttoaika, h	116	116	116	116
Savukaasuja, Nm <sup>3</sup>	2036	2225	2597	3431
Viipymisaika	168	154	132	100

Samalla teholla poltettaessa savukaasujen määrä siis nopeasti laskee polttoaineen kos- teuden vähetessä. Käytännössä tämä tietää sitä, että savukaasujen viipymä lämmityssys- teemissä on huomattavasti pitempi kuivaa kuin märkää puuta poltettaessa. Näin ollen savukaasujen virtaushitaudesta johtuen kui- vien puiden savukaasuilla on enemmän ai- kaa luovuttaa lämpöisältään lämmitys- kohteen hyväksi kuin märkien puiden savu- kaasuilla. Esimerkiksi 20 prosenttia kostea- la hakkeella savukaasujen viipymäaika systeemissä on 1,54ertainen verrattuna 60 % kosteasta hakkeesta syntyvien savukaasujen viipymiseen.

Kuvan 13 perusteella voidaan karkeasti ar- vioida, mitä hyötyä on hakkeen kuivaami- sesta ennen polttoa. Graafisesti mittailemal- la voidaan todeta, että esimerkiksi 60 pro- senttia kostean hakkeen kuivaaminen 40 prosenttiseksi saattaisi vähentää hukkaan poltettavan hakkeen määrää runsaasti 10 prosentilla ja että 40 prosenttisen hakkeen kuivaaminen 20 prosenttiseksi ei enää olisi yhtä edullista. Tämä arviointi perustuu ni- menomaan siihen, että oletetaan savukaasu- jen kummassakin tapauksessa karkaavan sa- manlämpöisinä. Tosiasiassa kosteasta hake- keesta tulee kuitenkin enemmän savukaasuja kuin kuivemmasta, kuten edellä on esitetty. Siirryttäessä kuvan 13 käyriä alaspäin kar- kaavien savukaasujen lämpötila myös las- kee, sillä niiden viipymäaika systeemissä li- sääntyy, — siihen tapaan kuin esitettiin edellä olevassa asetelmassa — mikä aiheut- taa savukaasujen jäähtymistä. Hukkaan pol- tettavan hakkeen määrä siis vähenee puun kosteuden laskiessa.

Edellä esitettyyn perustuvan säästämis- mallin mukaan lienee mahdollista parantaa haketta kuivaamalla polton hyötysuhdetta ainakin kymmenellä prosentilla. L i l l e -



Kuva 13. Eri asteisena (°C) karkaavien savukaasujen korvaamiseksi poltettava hakemäärä.

Fig. 13. Quantity of chips to be burnt to compensate for the flue gases that escape at different temperatures (°C).

s u n d i n (1959) kokeessa hyötysuhde parainkin 13,6 %, kun hakkeen kosteus aleni 46 %:sta 26,8 %:iin. Ö h m a n i n (1979) mukaan vähentämällä kuoren kosteutta 60 %:n tasolta 50 %:n tasolle voidaan kuoresta saada 10—15 % enemmän energiaa. Käytän-

nössä saattaa hakkeen kuivaaminen olla siis taloudellisesti varsin kannattavaa, jos kuivauskustannukset saataisiin pysymään esimerkiksi 1/10:na hakkeen hinnasta käyttöpaikalla.

## 5. KIRJALLISUUTTA

- AITTOMÄKI, S. 1963. Tutkimuksia polttohakkeen ja pilkkeiden kuivauksesta ulkoilman avulla. Pienpuualan toimikunta. Julkaisu 151:1—38.
- BEIJBOM, L. 1959. Fliseldning-skogsmomentet. Skogen 46 (2): 27—30.
- HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342:1—37.
- HIRN, R. 1937. Voimakoneet. I Höyrykattilat. Tekniikan käsikirja s. 297—378. K.J. Gummerus Osakeyhtiö Jyväskylä—Helsinki.
- IMMONEN, V. 1961. Hakkeen varastointia ja halkojen laatua koskevia tutkimuksia Turenkin Sokeritehtaalla v. 1958 ja 1959. Summary: Studies of the storage of chips and quality of plit fuelwood at Turenki sugar mill in 1958 and 1959. Pienpuualan toimikunta. Julkaisu 96: 1—30.
- ISOMÄKI, O., KAUKONEN, A.J. & UIMONEN, M. 1964. Puutavaran keinokuivaus. Heikinheimo, J. (toim.) Mekaaninen puuteollisuus I s. 301—387. Julk. Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys r.y. Joensuu. Pohjois-Karjalan Kirjapaino Oy.
- LILLESUND, F. 1959. Eidsvollin Meijerin hakkeen kuivatus ja noenerotuslaitteet. Pienpuualan Toimikunnan Julkaisuja 78:1—9.
- MALDONADO, E.D. & PECK, E.C. 1962. Drying by solar radiation in Puerto Rico. Forest products laboratory. Approved technical article: 487—488.
- MATTSSON, A. 1976. Ett system för bättre tillvaratagande av solenergin i samband med uppvärmning av växthus. Summary: A system for better utilization of solar energy for heating greenhouses. Rapp. Uppsats. Instn. Skogshögskolan Skogsförnygr. 75:1—17.
- NISULA, P. 1974. Makroilmaston vaikutus varastoidun pinotavaran painoon. Summary: Effect of macroclimate on the weight of stored cordwood. Folia For. 218:1—23.
- PECK, E.C. 1962. Drying lumber by solar energy. Forest products laboratory. Approved technical article: 1—2.
- ÖHMAN, K. 1979. Kuivempi kuori — enemmän energiaa. Sahamies 31 (11):7—9.







ODC 831.1:847  
ISBN 951-40-0458-2  
ISSN 0015-5543

NISULA, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Abstract: Aspects of the drying of fuel chips. *Folia For.* 440:1—14.

The drying of fuel chips made from recently felled trees in plastic greenhouse and under cover outdoors was studied. The experiments indicated that the chip drying rate in closed plastic greenhouse was only a little faster than in an outdoor shed. Chips that were not stirred dried distinctly more slowly than chips that were shaken up.

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

ODC 831.1:847  
ISBN 951-40-0458-2  
ISSN 0015-5543

NISULA, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Abstract: Aspects of the drying of fuel chips. *Folia For.* 440:1—14.

The drying of fuel chips made from recently felled trees in plastic greenhouse and under cover outdoors was studied. The experiments indicated that the chip drying rate in closed plastic greenhouse was only a little faster than in an outdoor shed. Chips that were not stirred dried distinctly more slowly than chips that were shaken up.

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

ODC 831.1:847  
ISBN 951-40-0458-2  
ISSN 0015-5543

NISULA, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Abstract: Aspects of the drying of fuel chips. *Folia For.* 440:1—14.

The drying of fuel chips made from recently felled trees in plastic greenhouse and under cover outdoors was studied. The experiments indicated that the chip drying rate in closed plastic greenhouse was only a little faster than in an outdoor shed. Chips that were not stirred dried distinctly more slowly than chips that were shaken up.

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

ODC 831.1:847  
ISBN 951-40-0458-2  
ISSN 0015-5543

NISULA, P. 1980. Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta. Abstract: Aspects of the drying of fuel chips. *Folia For.* 440:1—14.

The drying of fuel chips made from recently felled trees in plastic greenhouse and under cover outdoors was studied. The experiments indicated that the chip drying rate in closed plastic greenhouse was only a little faster than in an outdoor shed. Chips that were not stirred dried distinctly more slowly than chips that were shaken up.

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



- No 394 Rikala, Risto: Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen taimien kehittymiseen taimitarhalla.  
The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce transplants in the nursery.
- No 395 Löytyniemi, Kari, Aустarä, Øystein, Bejer, Broder & Ehnström, Bengt: Insect pests in forests of the Nordic Countries 1972—1976.  
Tuhohyönteisten esiintyminen Pohjoismaiden metsissä 1972—1976.
- No 396 Silfverberg, Klaus: Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan boorinpuutosalueella.  
Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron deficient peatland.
- No 397 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1976 (1964—1973).  
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1976 (1964—1973) by districts.
- No 398 Lehto, Jaakko: Metsäalan koulutus metsäalan organisaatioiden arvioimana.  
Forest education evaluated by forestry organizations.
- No 399 Jokinen, Katriina & Tamminen, Pekka: Tyvilahoisten kuusikoiden jälkeen istutetuissa männyn taimistoissa esiintyvät sienituhot Keski-Satakunnassa.  
Fungal damage in young Scots pine stands replacing butt rot-infected Norway spruce stands in SW Finland.
- No 400 Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsäntutkimuslaitoksen metsänlannoitustutkimuksen seminaari 15. 2. 1979.  
Results and tasks in forest fertilization research. Proceedings of the Finnish Forest Research Institute symposium on forest fertilization research 15. 2. 1979.
- No 401 Mielikäinen, Kari: Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon.  
The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand.
- No 402 Sepponen, Pentti, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa.  
On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland.
- No 403 Kanninen, Kaija, Uusvaara, Olli & Valonen, Paavo: Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet.  
Measuring and properties of whole tree raw-material.
- No 404 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä.  
Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas.
- No 405 Sepponen, Pentti & Haapala, Heikki: Ojituksen vaikutuksesta turpeen kemiallisiin ominaisuuksiin.  
On the effect of drainage on the chemical properties of peat.
- No 406 Elovirta, Pertti: Metsätyövoiman alallapsyvyys 1969—1977.  
Permanence of forest labour in Finland 1969—1977.
- No 407 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella.  
Variation in tree growth in Finland based on the 6th National Forest Inventory.
- No 408 Lilja, Arja: Koivun siemenen sienet ja niiden patogeenisuus.  
Fungi on birch seeds and their pathogenicity.
- No 409 Kallio, Tauno & Häkkinen, Risto: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja *Phlebia gigantean* (Fr.) Donk vaikutus pelloille istutettujen kuusen, männyn, tervalepän ja rauduskoivun taimien pituuskasvuun ja elossapysymiseen.  
Effect of *Heterobasidion annosum* and *Phlebia gigantea* infection on the height growth and survival rate of *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Alnus glutinosa* and *Betula pendula* seedlings planted on old fields.
- No 410 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuun kiintomittaus kourakasoissa.  
Measurement of solid volume of pulpwood grapple heaps.
- No 411 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1977—79.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1977—79.
- No 412 Raitio, Hannu: Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopelolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta.  
Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms.
- No 413 Kellomäki, Seppo & Salmi, Juhani: Koivuvaneritukkien kuoren määrä.  
Bark quantity of birch logs.
- No 414 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus runsastyyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia.  
Refertilization on nitrogen-rich pine swamps. Preliminary results.
- No 415 Teivainen, Terttu: Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus peltomyyrälle (*Microtus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan.  
Palatability of some cultivated willows to field voles (*Microtus agrestis* L.) in feeding trials.
- No 416 Velling, Pirkko: Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa.  
Wood density in two *Betula pendula* Roth progeny trials.
- No 417 Mattila, Eero: Kangasmaiden luppometsien ominaisuuksia Suomen pironhoitoalueella 1976—1978.

- Characteristics of the mineral soil forests with arboreal lichens (*Alectoria*, *Bryoria* and *Usnea* spp.) in the Finnish reindeer management area, 1976—1978.
- No 418 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Harvesting fuel chips with the Pallari swath harvester.  
Polttopuun korjuu Pallarin leikkuuhakurilla.
- No 419 Kinnunen, Kaarlo & Lemmetyinen, Markku: Paakkukoon vaikutus männyn taimien alkukehitykseen  
Initial development of containerized pine seedlings as affected by the size of earth ball.
- No 420 Keipi, Kari & Laakkonen, Olavi: Päätehakkuikäisten metsiköiden urealannoituksen kannattavuusvertailuja.  
Profitability comparisons of urea fertilization in old stands.
- No 421 Lipas, Erkki & Levula, Teuvo: Urealannoitus eri vuodenaikoina.  
Urea fertilization at different times of the year.
- No 422 Weissenberg, Kim, von & Kurkela, Timo (Eds.): Proceedings of the meeting of the IUFRO Working Party S2.05—05, Resistance in pines to *Melampsora pinitorqua*, June 1979, Suonenjoki, Finland.  
IUFRO:n työryhmän S2.05—05, Versoruostekestävyys männynsä, kesäkuussa 1979 Suonenjoella pidetyn kokouksen esitelmä.
- No 423 Kylmänen, Pekka: Ennakkotuloksia nuorissa männyn siemenviljelyksissä syntyvän Pohjois-Suomi x Etelä-Suomi -kaukoristeyssiemenen käyttömahdollisuuksista.  
Preliminary results concerning usability of North Finland x South Finland hybrid seed born in young Scots pine seed orchards.
- No 424 Sievänen, Risto: A preliminary simulation model for annual photosynthetic production and growth in a short rotation plantation.  
Alustava lyhytkiertoviljelmän vuotuisen fotosynteesin tuotoksen ja kasvun simulointimalli.
- No 425 Kohmo, Ilkka: Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971—1976.  
Increment percentage of forest stands in Finland 1971—1976.
- No 426 Rautiainen, Olavi & Räsänen, Pentti K.: Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968—1976.  
Development of Scots pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968—1976.
- No 427 Tiihonen, Paavo: ATK-karttamenetelmän kokeilu työkohteiden etsinnässä Pohjois-Savossa 1976—1978.  
Experimenting with the ADP-map method for locating working sites in northern Savo, East Finland, 1976—1978.
- No 428 Rynnänen, Leena: Männyn siemenen varastointi ja vanheneminen.  
Storage of Scots pine seed and seed ageing.
- No 429 Raivonen, Marjut & Leikola, Matti: Hakkuutähteiden poistamisen vaikutus istutettujen kuusen taimien alkukehitykseen.  
The influence of the removal of logging waste on the initial development of planted Norway spruce seedlings.
- No 430 Metsätilastollinen vuosikirja 1979.  
Yearbook of Forest Statistics 1979.
- No 431 Kytälä, Timo: Puuston vaurioituminen harvennushakkuissa. — Kirjallisuustarkastelu.  
Stand damage during thinnings. — Literature review.
- No 432 Silfverberg, Klaus: Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet.  
Micronutritional growth disorder in Norway spruce.
- No 433 Hakkila, Pentti & Wójcik, Tomasz: Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland.  
Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa.  
Próba zastosowania ciągnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebieżach drzewostanów sosnowych w Polsce.
- No 434 Seppälä, Heikki, Kuuluvainen, Jari & Seppälä, Risto: Suomen metsäsektori tienhaarassa.  
Tutkimus Suomen metsäsektorin kehityksestä ja tulevaisuuden vaihtoehdoista.  
The Finnish forest sector at a cross road.
- No 435 Julkaisut 1979. Metsäntutkimuslaitos.  
Abstracts of publications, 1979. The Finnish Forest Research Institute.
- No 436 Mattila, Eero & Kujala, Matti: Utsjoen, Inarin ja Enontekiön metsävarat 1978.  
Forest resources of Utsjoki, Inari and Enontekiö, North Finland, in 1978.
- No 437 Kurvinen, Pekka & Harstela, Pertti: Haketustyön ergonomia ja työn järjestely.  
Ergonomics and work organizing of chipping work.
- No 438 Nisula, Pentti: Neulasten pitolujuuden mittari.  
Needle retention gauge.
- No 439 Nisula, Pentti: Tutkimuksia kantoherbisidin levittämisestä raivaussahalla.  
Studies on stump herbicide spraying using a brush saw.
- No 440 Nisula Pentti: Näkökohtia polttohakkeen kuivaamisesta.  
Aspects of the drying of fuel chips.