

09.08.91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1990

767

Juha Nurmi

POLTTOHAKKEEN VARASTOINTI SUURISSA AUMOISSA

Longterm storage of fuel chips in large piles

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

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 kymmenellä tutkimus- ja koebasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

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

09.09.91

FOLIA FORESTALIA 767

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Juha Nurmi

POLTTOHAKKEEN VARASTOINTI SUURISSA AUMOISSA

Longterm storage of fuel chips in large piles

Approved on 26.10.1990

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
3. TULOKSET	6
31. Aumojen lämpötila	6
32. Puuaineen kosteus	6
33. Puuaineen tiheys ja kuiva-aine tappiot	10
34. Kokopuuhakkeen lämpöarvo	12
341. Kalorimetrinen lämpöarvo	12
342. Tehollinen lämpöarvo	14
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	14
KIRJALLISUUS	15
SUMMARY	17

Nurmi, J. 1990. Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa. Summary: Longterm storage of fuel chips in large piles. *Folia Forestalia* 767. 18 p.

Koivukokopuusta tehdyn polttohakkeen varastointia suurissa aumoissa tutkittiin napapiirin pohjoispuolella Sodankylässä. Tutkimuksessa selvitettiin varastoinnin pituuden, kattamisen ja pohjustamisen vaikutusta hakkeen lämpötilaan, kosteuteen, tiheyteen ja lämpöarvoon. Hake varastoitiin kahdessa 3000 i-m³:n aumassa.

Polttihakkeen kuiva-ainetappiot kasvoivat varastointiajan pidentyessä. Aumojen kattaminen muovilla lisäsi kuiva-aine tappioita ja nosti puuaineen kosteutta estämällä puun hajoamisessa syntyvän veden haihtumisen auman pinnalta. Yli puoli vuotta kestäneen varastoinnin aikana kosteutta kerääntyi myös pohjumuovin päällä olleeseen hakkeeseen. Auman kattamista ja pohjustamista muovilla ei siis voida pitää perusteltuna puuteknologisista eikä taloudellisista syistä. Puuaineen kosteuden lisääntyminen sekä mineraalimaan sekoittuminen polttohakkeen joukkoon laskivat polttohakkeen tehollista lämpöarvoa.

Storing of birch whole tree chips was studied on the southwest side of Lokka reservoir, in Sodankylä at latitude 68 degrees north during 1983–85. The purpose of the study was to examine the effects of storing time, cover and underbase on pile temperature, wood moisture, dry matter losses and heat value. Two 3000 m³-loose piles were made to carry out the study.

The dry matter losses were found to increase with time. Chips under plastic cover were found to suffer greater losses than those without cover. The use of cover also increased wood moisture content. When using plastic underbase the long storage periods seem to cause some of the moisture to collect on the bottom part of the pile. Hence it follows that the use of plastic as a cover and underbase material can not be justified. On one hand the increase in moisture content caused by the treatment and increased storage time and on the other hand the mixing of mineral soil with fuel chips had a negative effect on the heating value.

Keywords: fuel chips, fuel wood, storage.
ODC 363.7--084.4

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Station, PL 44, SF-69101 Kannus, Finland.

ISBN 951-40-1142-2
ISSN 0015-5543
Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

1. Johdanto

Puupolttaineiden merkittävänä erona fossiiliin polttoaineisiin verrattuna on puun ominaisuuksien, mm. kosteuden, tiheyden ja lämpöarvon vaihtelu. Puulajin ja kosteuden vaikutusta lämpöarvoon ovat tarkastelleet Heiskanen & Jokihaara (1961), Lehtonen (1977), Hakkila (1978) ja Björklund (1983). Lahovikaisuuden vaikutusta lämpöarvoon on tutkinut Salmi (1964). Yleiseltä kannalta ovat polttopuun ominaisuuksia käsitelleet Kärkkäinen (1977) ja Kofod (1983). Lisäksi Nylinder (1979) on selvittellyt lämpöarvon yhteyttä puun kosteuteen sekä puun kilpailukykyä polttoaineena öljyyn verrattuna.

Puuaineen kosteus on tärkein puun palamiiseen vaikuttavista tekijöistä. Se riippuu ensisijaisesti puun kaadon jälkeisestä käsittelystä ja varastoinnista, mutta myös tuoreen puun kosteus vaihtelee. Kosteutta ja sen vähentämistä tutkittiin paljon Pienpuualan toimikunnan aikana (mm. Taipale 1960, 1962, 1963, Aittomäki 1963). Polttohaketta on kuivattu puhallusilman avulla (Gustafsson 1981, Thörnqvist 1982, Thörnqvist & Gustafsson 1983, Gislerud 1983) ja jopa savukaasuilla. Muita kuivatustapoja ovat tutkineet Alestalo (1982), Koch (1983) ja Nurmi (1987). Palakoon vaikutusta hakkeen varastointiin ja säilymiseen ovat tutkineet Sturos (1984a, b), Fredrikson & Rutegård (1985), Nurmi (1986, 1987), Arola (1988), Gjølsjø (1988), Gustafsson (1988), Hudson ym. (1988) ja Mivell (1988).

Polttohakkeen pienkuluttajien keskuudessa hakkeen kuivatus on tavanomainen toimenpide. Suurkuluttajien kannalta tämä ei kuitenkaan kannata suurten määrien sekä useiden toimittajien takia. Siksi monet teollisuustutkimuksista ovatkin liittyneet polttohakkeen varastointiin. Tätä aihetta ovat tutkineet mm. Immonen (1961), Håkansson & Numminen (1963), Annergren ym. (1964), Hajny (1966), Bergman & Nilsson (1966, 1967, 1968, 1971, 1974, 1979), Gislerud & Grønlien (1977, 1978a, b) sekä Gislerud (1978). Polttohakkeen pienkäyttäjillä ilmenneet hengitystieallergiat ovat antaneet aihetta useille tutkimuksille kymmenen viime vuoden aikana (Gislerud 1974, Strömquist ym. 1980, Thörnqvist 1980, 1983, Björklund 1982, 1983, White ym. 1983). Erityisesti fysiologisia haittoja ovat tut-

kineet Smith & Ofosu-Asiedu (1972), Høeg (1980, 1981), Thörnqvist & Lundström (1980), Turkkila & Knut (1982), Pesonen (1982), Pellikka (1983), Pellikka & Kotimaa (1983) ja Belin (1984).

Koska itse hakkeen kuivaaminen suurina määrinä ei kannata, puun kosteuden alentaminen ennen haketusta on mielekkäin vaihtoehto. Puun rasikuivatus sekä kokopuiden tai rankojen kuivatus kasoissa ovat edelleenkin yksinkertaisimmat ja taloudellisimmat menetelmät (Jalava 1941, Heiskanen & Hakkila 1960, Levanto 1961, Warsta 1961, Hakkila 1962, Simola & Mäkelä 1976, Liss 1979, Faeste & Johnsson 1982, Uusvaara 1984).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, mitä muutoksia varastointi aiheuttaa polttohakkeen puuaineessa sekä kuinka nämä muutokset voitaisiin minimoida. Kattamisen on yleensä oletettu vaikuttavan positiivisesti puupolttaineiden laatuun estämällä veden ja lumen pääsyn varastoitavaan materiaaliin. Tämän oletuksen todenperäisyyden selvittämiseksi hakeaumojen osia pohjustettiin ja katettiin eri pituisiksi ajoiksi polttohakkeen varastoinnin yhteydessä. Puuaineen laadun muutoksia tutkittiin kosteuden, tiheyden, kuiva-tuoretiheyden ja auman lämpötilan kannalta.

Aloitteen tutkimuksesta teki maan suurin polttohakkeen toimittaja Vapo Oy. Yhtiö vastasi haketuksesta, hakkeen kuormauksesta ja siirrosta sekä teiden aurauksesta talvi-aikaan. Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osasto vastasi tutkimuksen järjestelystä, aineiston keruusta, käsittelystä sekä raportoinnista. Tutkimus on osa Metsäntutkimuslaitoksen Pienpuun korjuu ja hyväksikäyttö -projektia.

Tutkimuksen kenttätöiden järjestelyssä avustivat Hannu Kalaja, Tapio Nevalainen, Veijo Salo ja Jaakko Kalaja Metsäntutkimuslaitoksesta sekä Martti Pyykkö Vapo Oy:n Rovaniemen konttorista. Lämpöarvonäytteiden käsittelystä vastasi Jaakko Lehtovaara Vapo Oy:n Jyväskylän laboratorioista. Aineiston tilastollisessa käsittelystä avustivat Arto Ketola ja Jyrki Hytönen sekä tulostuksessa Keijo Polet ja Ulla-Riitta Uusitalo. Graafiset työt tekivät Maire Ala-Pönttiö ja Leena Muronranta. Käsikirjoituksen tarkastivat Pentti Hakkila, Pertti Harstela ja Olli Uusvaara. Kiitän kaikkia avusta.

2. Aineisto ja menetelmät

Polttohake tehtiin 26.8.–5.9.1983 Sodankylässä Lokan tekoaltaan lounaisrannalla. Haketettavat hieskoivut oli kaadettu edellisenä vuonna männyn taimikon päältä ja pinottu lehdettöminä kokopuina tienvarsikasoihin. Puut hakettiin Perusyhtymän valmistamalla TT 1500 -hakkurilla suoraan ajoneuvoon, jolla hake siirrettiin varastointipaikaksi varattuun vanhaan soranottoaikkaan noin 3 km:n päähän. Hake aumattiin pyörökuormaajalla, joka tiivisti haketta aumaan epätasaisesti. Tähän ei osattu ennakolta varautua, ja tiivistyminen vaikutti joissain tapauksissa tuloksiin enemmän kuin tutkittaviksi valitut tekijät.

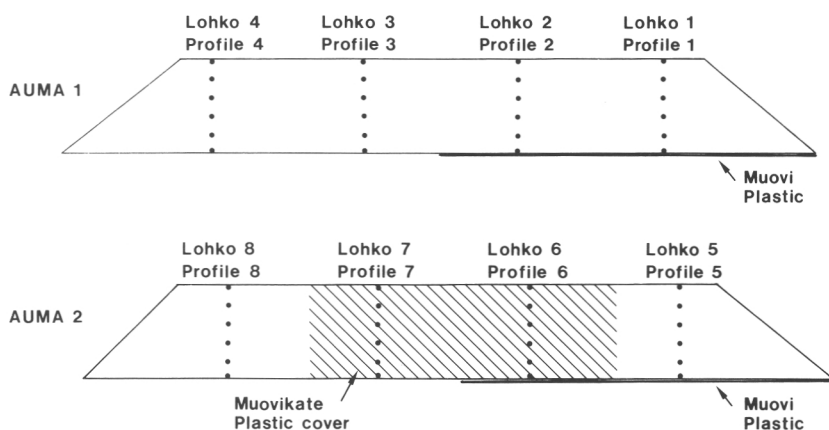
Aumoja tehtiin kaksi. Tarkoituksena oli kattaa aumojen keskiosat muovilla ja jättää päät avoimiksi. Tämän lisäksi auman toinen puoli tuli pohjustaa muovilla, jolloin kumpaankin aumaan olisi saatu neljä katteen ja pohjan yhdistelmää.

Toisen auman peittäminen ei onnistunut voimakkaitten tuulten takia, joten sen peittämisestä luovuttiin kolmen viikon kuluttua. Näin tutkimuksessa jouduttiin tarkkailemaan kahta eri tavoin käsiteltyä 3000 i-m³:n aumaa (kuva 1). Kumpikin auma jaettiin neljään osaan, joita tässä yhteydessä kutsutaan lohkoiksi. Alla olevasta asetelmasta ilmenee kunkin lohkon kate, pohja sekä varastointiaika.

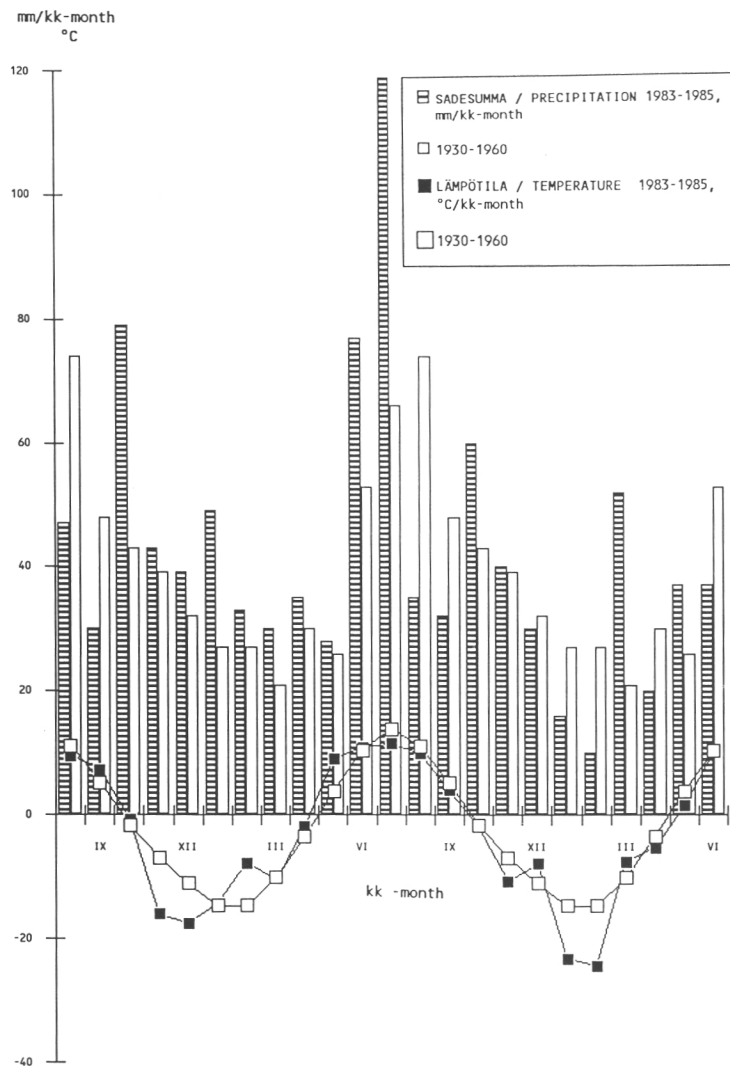
Lohko	Kate	Pohja	Varastointiaika, kk
1	ei	on	5,5
2	ei	on	14
3	ei	ei	14
4	ei	ei	5,5
5	ei	on	18
6	on	on	18
7	on	ei	18
8	ei	ei	18

Varastoinnin aiheuttamia puuaineen muutoksia selvitettiin mittaamalla hakkeen kosteutta, tiheyttä, lämpöarvoa ja tuhkapitoisuutta näytteistä jotka, kerättiin sekä aumauksen, että auman purkamisen yhteydessä. Tätä tarkoitusta varten asetettiin hakkeella täytetyt verkkopussit aumoihin kunkin lohkon keskelle pystytasoon yhden metrin ruudukkoon. Tämä helpotti näytteenottoa aumojen purkamisen yhteydessä. Lohkosta 5 auman purkamisen yhteydessä sattuneen huolimattomuuden takia ei kaikkia pusseja saatu talteen. Puuaineen kosteudet ja kuiva-tuoretiheydet määritettiin Metsäntutkimuslaitoksessa Helsingissä. Tiheys määritettiin veteenupotusmenetellä. Koska hake muodostuu lukuisista erikokoisista ja -muotoisista palasista, menetelmän käyttö on jonkin verran epätarkkaa. Hakkeen ominaisuuksien tarkkailuun rakennettiin ohuesta, perforoidusta teräksestä ylösalaisin seisova katkaistu kartio, joka läpäisi hyvin ilmaa ja vettä. Tiheyden aleneminen on ilmaistu kuiva-ainetappioiden (%). Lämpöarvo ja tuhkanäytteet määritettiin Vapon Oy:n Jyväskylän laboratoriossa.

Mikrobit ja kemiallinen hajoaminen saavat hakkeessa aikaan muutoksia, joista lämpötilan kohoaminen on helpoiten havaittavissa. Näistä prosesseista vapautuvan lämmön mittaamiseksi hankittiin Vapo:n Kokkolan konepajalta turveaumojen mittaukseen tarkoitettu kaksimetrisen lämpömittari. Puuaineen kovuuden ja hakeauman tiivyyden takia mittaria oli vahvistettava ja kehitettävä. Lämpötila mitattiin lohkoittain pisteissä, jotka sijaitsivat kahden metrin välein korkeussuunnassa auman rinnettä pitkin (kuva 1). Kussakin pisteessä mittaus tehtiin 0,5, 1,0 ja 2,0 metrin syvyyksiltä. Kaikkiaan mittauspisteitä oli kahdessa aumassa 97. Lämpötiloja mitattiin keskimäärin kahden viikon välein. Aineistoa käsiteltäessä on kullekin mittauspisteelle laskettu kuukauden keskiarvo, minkä jälkeen keskiarvot on summattu lämpösummaksi. Selitet-



Kuva 1. Lohkojen sijainnit aumoissa.
Figure 1. The location of treatments in the piles.



Kuva 2. Sadesumman ja lämpötilan kuukausittaiset lukemat tutkimuksen aikana vuosina 1983–85 sekä pitkäaikaiset keskiarvot vuosilta 1930–60. Mittaukset tehty Sodankylän, Vuotson sääasemalla (Ilmatieteen laitos...).

Figure 2. The monthly precipitation and temperature during the experiment in 1983–85 and the longterm averages in 1930–60. Measurements taken at Sodankylä, Vuotso weather station.

täessä hakkeen tiheyttä lämpötilalla valittiin mittauspisteeksi aina näytteen ottokohtaa lähinnä ollut mittauspiste. Vaikkakaan aumojen lämpötilojen ja sään välistä yhteyttä ei tässä yhteydessä selvitetty, kuukauden keskilämpötilat ja sademäärät on koottu kuvaan 2.

Käsittelyjen välisiä eroja tarkasteltiin vertaamalla lohkojen puuteknisten tunnusten variansseja ja keskiarvoja. Regressioanalyysillä tutkittiin muovikatteen ja pohjan vaikutusta auman lämpötilaan ja puuaineen tiheyteen.

3. Tulokset

31. Aumojen lämpötila

Aumojen lämpötila riippui useista tekijöistä. Hakkeen kosteus, varaston koko, raaka-aineen koostumus, palakoko, auman tiivistyminen, puulaji sekä kasan tuuletus vaikuttavat niin lämpötiloihin kuin puuteknisiin ominaisuuksiin (Thornqvist 1988). Lokan aumojen kohdalla tutkittiin mittauspisteen korkeuden ja syvyyden, varastoinnin pituuden, sekä katteen ja pohjustuksen vaikutusta lämpötilaan.

Kuvat 3 ja 4 osoittavat lämpötilojen vaihdelleen ennen kaikkea vuodenajan mukaan. Lämpötilat olivat korkeimmat syksyllä pian aumauksen jälkeen, mutta laskivat monissa lohkoissa talven aikana. Seuraavana kesänä lämpötilat jälleen kohosivat. Kuvista nähdään myös lämpötilojen olleen korkeampia auman sisällä kuin pinnassa ja korkeampia yläosassa kuin pohjalla.

Mittauspisteen korkeus ja syvyys selittivät merkittävästi aumojen lämpötiloja molemmissa aumoissa ja kaikissa lohkoissa. Korkeus oli kaikissa lohkoissa hyvin merkitsevä selittäjä mutta syvyys vain osassa lohkoja (taulukko 1).

Pohjamuovi vaikutti aumojen lämpötiloihin siten, että auman 1 pohjustettu lohko 1 oli lohkoa 4 viileämpi. Toisaalta auman 2 lohkojen 5 ja 8 kohdalla tilanne oli päinvastainen. Koska pohjan käyttö oli antanut ristiriitaisen tuloksen, on selitystä haettava varsinaisten koeasetelmien ulkopuolelta. Tällainen tekijä on ollut pyöräkuormaajan tiivistävä vaikutus. Aumassa 1 ajo tapahtui lohkoista 4 lohkokoon 1 päin, jolloin lohkokoon 4 kohdistui eniten ja lohkokoon 3 seuraavaksi eniten painetta. Vastaavasti aumassa 2 suurin tiivistyminen kohdistui lohkokoon 5 ja pienin lohkokoon 8. Vertailtaessa lohkoja pareittain havaittiin, että lämpötila oli johdonmukaisesti ollut aina korkeampi siinä lohkoissa, jonka yli oli ajettu useimmin. Ainoan poikkeuksen tähän muodostivat katetut lohkot 6 ja 7, jotka eivät erottuneet tilastollisesti merkitsevästi (taulukko 2). Tiivistyminen näytti vaikuttaneen pohjaa enemmän auman lämpötilaan, ja siksi tiiviyttä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää. Myös Thornqvist (1987) on havainnut tiivistymisen nostavan lämpötilaa. Hänen mukaansa aumapalot tapahtuvat nimenomaan pakkautuneen ja pakkautumattoman hakkeen rajapinnoissa.

Auman kattaminen muovilla nosti lämpötiloja merkittävästi. Lämpösummien vertailua varten

auma 2 jaettiin pohjustettuihin ja pohjustamattomiin lohkoihin. Molemmissa vertailuissa kate nosti lämpötilaa. Erot olivat varsin suuret lohkojen 7 ja 8 välillä. Lohko 8 oli jäässä suurimman osan talvea, mikä johtui sen vähäisestä tiivistymisestä. Lohkojen 5 ja 6 väliset erot olivat huomattavasti pienemmät (taulukko 2).

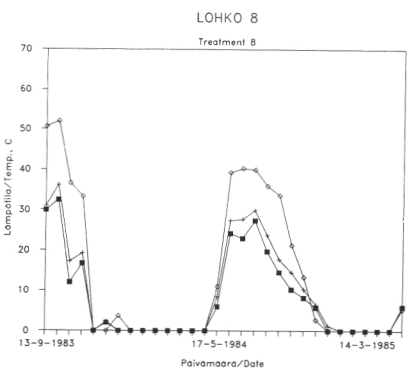
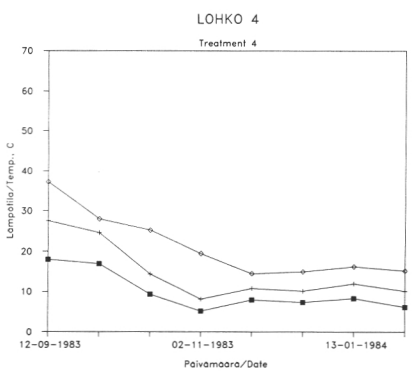
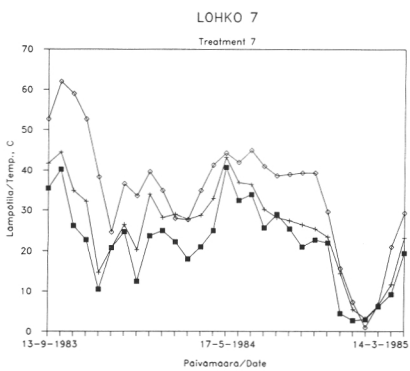
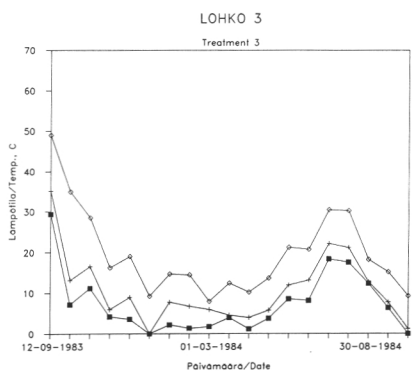
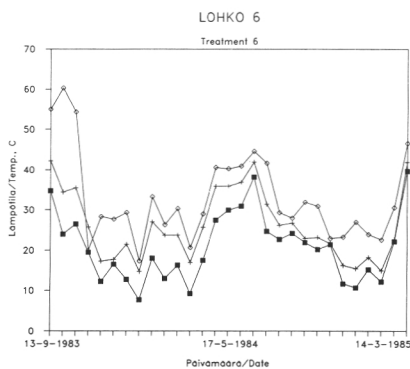
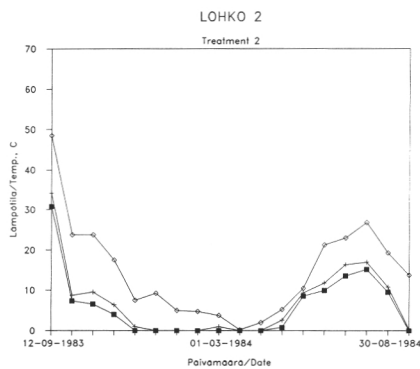
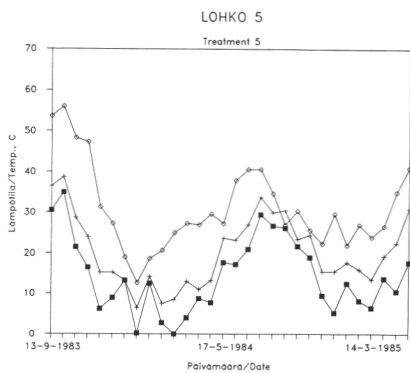
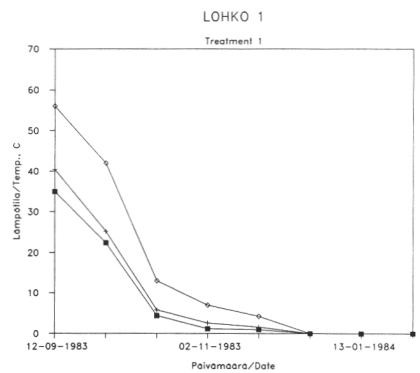
32. Puuaineen kosteus

Aumojen hake tehtiin kasoissa kuivuneesta kokopuusta. Puuaineen alkukosteus oli 1. aumassa 31,1% ja 2. aumassa 30,9%. Aikaisemmissa selvityksissä ei ole todettu yhtä alhaisia kosteusarvoja kasoissa kuivuneelle kokopuulle (Hakkila 1962, 1984 ja Uusvaara 1984). Koska haketettu puutavara oli yhdenmukaista sekä kosteudeltaan että muiltakin ominaisuuksiltaan,

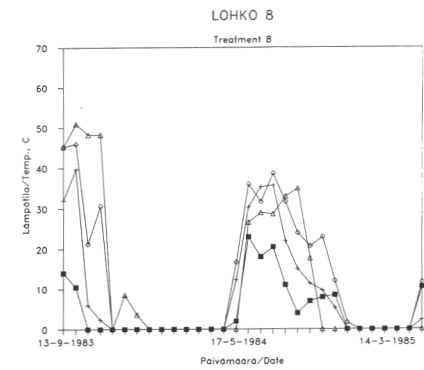
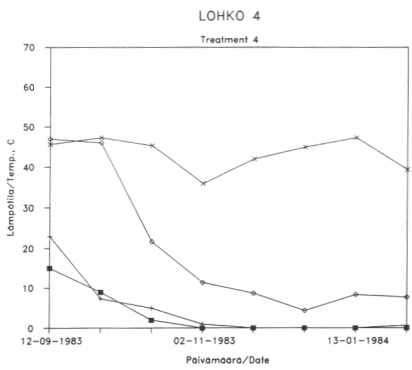
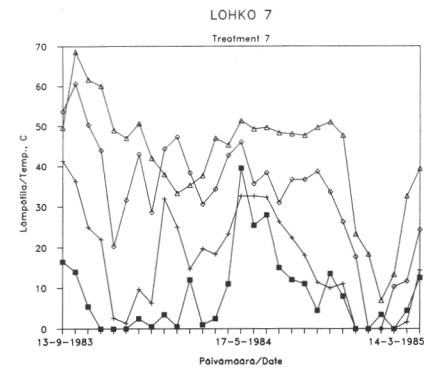
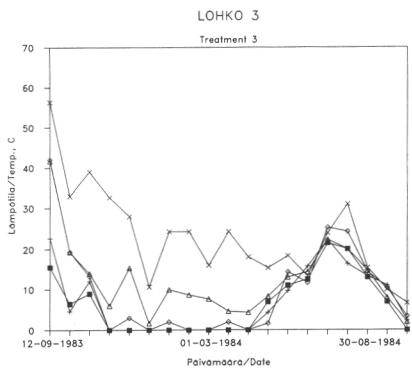
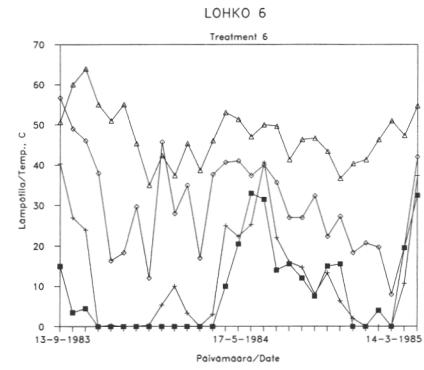
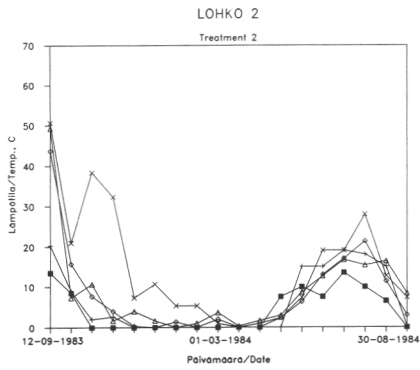
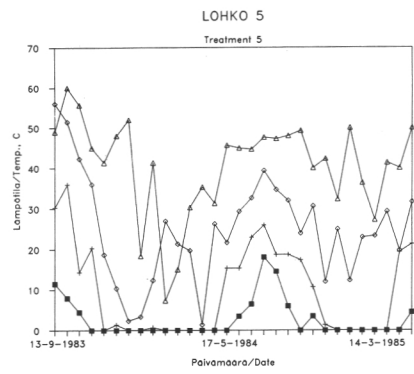
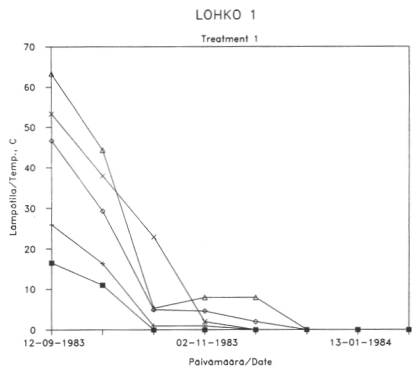
Taulukko 1. Aumojen lämpösumman (y) riippuvuus mittauspisteen korkeudesta (x_1) ja syvyydestä (x_2).

Table 1. The heat sum of piles (y) as a function of height (x_1) and depth (x_2) of the measurement point.

Auma Pile	Lohko Treatment	Regressiomalli Regression model	F-arvo F ratio	r ²
1		$-55,7+18,1x_1+45,1x_2$	19,8***	0,46
	1	$-9,2+6,1x_1+10,9x_2$	19,0***	0,81
	2	$-41,8+13,4x_1+65,6x_2$	27,8***	0,84
	3	$-87,1+27,4x_1+80,0x_2$	17,2***	0,76
4		$-84,3+23,8x_1+28,1x_2$	38,0***	0,90
2		$-159,8+93,5x_1+84,1x_2$	32,1***	0,63
	5	$-284,5+121,3x_1+70,3x_2$	71,4***	0,97
	6	$-222,0+126,6x_1+85,7x_2$	56,6***	0,93
	7	$-132,5+104,2x_1+98,0x_2$	64,9***	0,94
8		$-2,3+22,5x_1+83,0x_2$	24,4***	0,86



Kuva 3. Lohkojen lämpötilojen riippuvuus vuodenajasta. Mittaukset tehty 0,5 (■), 1,0 (+) ja 2,0 (◇) metrin syvyyksiltä. Figure 3. Pile temperatures as a function of the season. Measurements taken at depths of 0.5 (■), 1.0 (+) and 2.0 (◇) meters.



Kuva 4. Lohkojen lämpötilojen riippuvuus vuodenaikasta. Mittaukset tehty 2 (■), 4 (+), 6 (◇), 8 metrin korkeuksilta (△) sekä auman päältä (×).

Figure 4. Pile temperatures as a function of the season. Measurements taken at heights of 2 (■), 4 (+), 6 (◇), 8 meters (△) and the top of the pile (×).

Taulukko 2. Lämpösummien tilastollinen merkitsevyys auman eri osissa pohjamuovia (x) tai katetta (y) käytettäessä.
Table 2. *F* ratios of analysis of variance for the heatsums of tested treatments when plastic underbase (x) or cover (y) are used.

Mittauspisteen sijainti Location of the measuring point		Vertailtavat lohkot — Tested treatments F-arvot — F ratios					
Korkeus, m Height, m	Syvyys, m Depth, m	1 _x vs, 4	2 _x vs, 3	5 _x vs, 8	6 _x vs, 7	5 _y vs, 6 ^y	7 ^y vs, 8
2	0,5	0,23	1,77	1,92	0,80	27,91***	4,98*
	1,0	0,01	1,16	2,21	0,50	46,18***	7,12*
4	0,5	0,01	2,22	0,25	3,12	6,95*	6,34*
	1,0	0,22	0,07	0,12	1,44	2,01	4,73*
6	2,0	0,27	0,13	0,05	0,74	1,85	4,28*
	0,5	1,25	2,45	2,53	0,18	11,52**	10,92**
	1,0	5,03	0,74	18,42***	0,00	2,32	15,83***
Päältä - From the top	2,0	18,27**	0,47	5,49**	0,90	0,76	16,02***
	0,5	31,61**	0,01	23,74***	1,35	7,43*	48,56***
	1,0	58,37***	5,56*	52,52***	2,28	10,13**	72,55***
	2,0	117,28***	10,62**	60,63***	2,49	1,15	36,43***

Taulukko 3. Koivukokopuuhakkeen kosteudet (%) kokeen alussa sekä lohkoittain kokeen lopussa.
Table 3. Moisture content (%) of birch whole tree chips in the beginning of the experiment and in the end according to the treatment.

	Alussa Starting value	Lohko — Treatment			
		1	2	3	4
\bar{x}	31,1 ^{ab}	25,3 ^a	39,0 ^b	27,8 ^{ab}	31,4 ^{ab}
s	1,3	7,4	20,2	15,0	14,6
		5	6	7	8
\bar{x}	30,9	31,2	41,9	39,0	39,0
s	2,6	20,9	23,5	20,2	18,5

Samalla kirjaimella on merkitty ne keskiarvot, jotka yksisuuntaisen varianssianalyysin jälkeen eivät poikenneet toisistaan ($p < 0,05$).
Means indicated with the same letter do not differ from each other at 5% significance level.

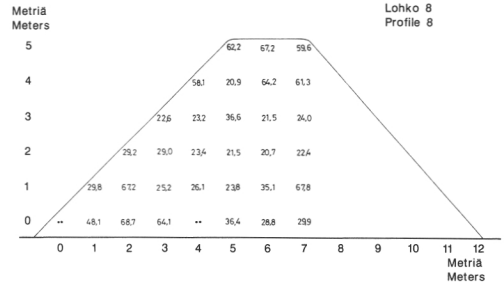
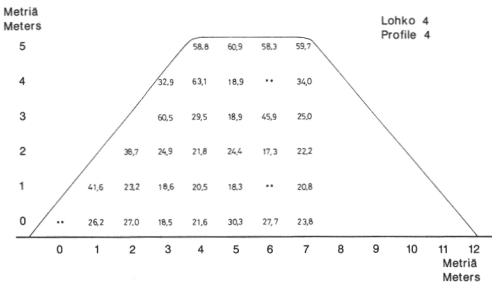
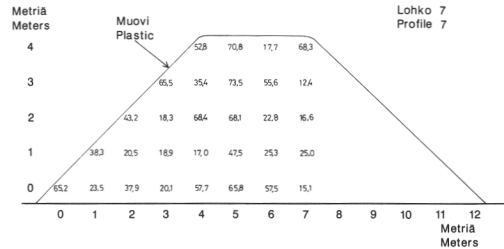
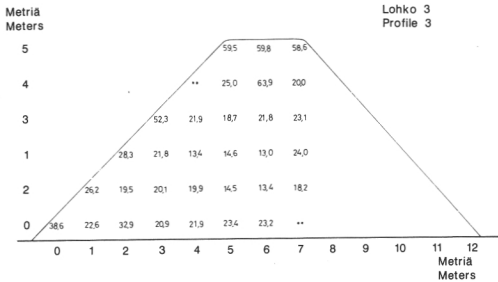
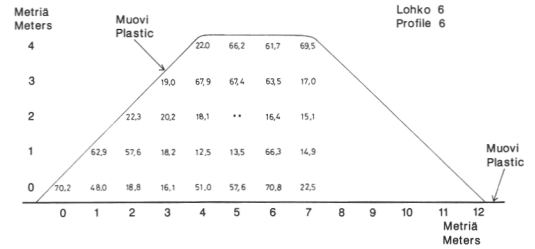
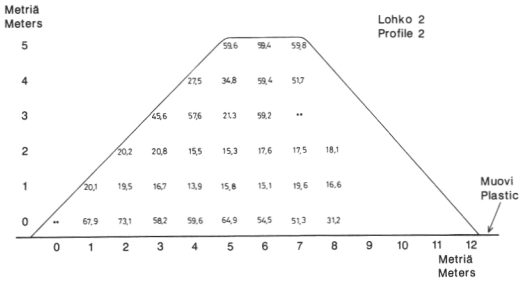
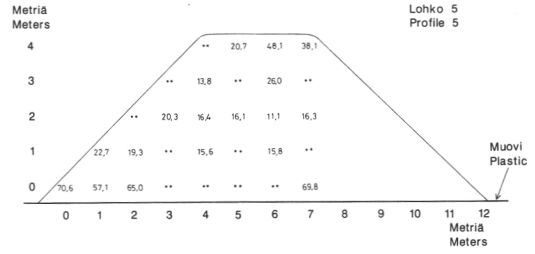
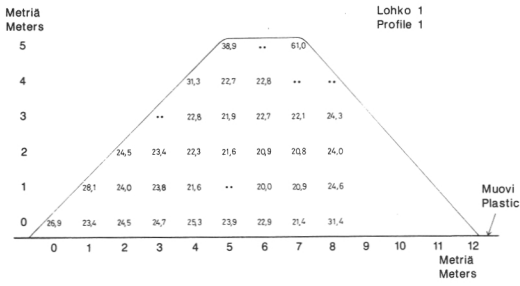
voitiin olettaa varastoinnista aiheutuvien puuteknisten sekä kemiallisten muutosten olevan helposti havaittavissa.

Mikrobien aiheuttama lämpötilan nousu saa aikaan kaasujen kiertoa. Sen mukana siirtyy hakkeessa jo olevaa ja puuaineen hajoamisessa syntyvää kosteutta auman yläosaan. Siellä osa kosteudesta tiivistyy auman pinnalla olevaan hakkeeseen ja osa haihtuu ilmaan, mikäli estettä ei ole. Kuvassa 5 näkyvät purkamishetkellä vallinneet kosteudet. Puoli vuotta varastoitujen lohkojen 1 ja 4 kosteus oli siirtynyt sisemmistä

osista auman pintaan. Saman ilmiön ovat aiemmin havainneet mm. Gislerud & Grønlien (1978), Thörnqvist (1983), Björklund (1982) sekä Sampson & McBeath (1989). Niin auman keskellä kuin pohjallakin hake oli hieman kuivunut. Lohkon 1 kosteus oli laskenut enemmän, mutta tilastollisesti se ei poikennut merkittävästi lohkoista 4 (taulukko 3). Lohkon 1 alhainen kosteus aiheutui ilmeisesti siitä, että kuormatraktorin pyörät eivät tiivistäneet haketta auman tässä osassa samassa määrin kuin auman 1 muissa lohkoissa. Näin ollen kaasut pääsivät kiertämään lohkoissa 1 auman muita osia paremmin. Myös lohkon lämpötila oli huomattavasti alhaisempi kuin muissa lohkoissa.

Pitempään varastoidut lohkot 2 ja 3 käyttäytyivät lähes samalla tavoin kuin aiemmin purettu lohkot, eivätkä niiden kosteusarvot eronneet merkittävästi muista lohkoista. Lohkossa 2 muovin päällä olleet hakkeet kuitenkin kastuivat. Tämä on erikoista, sillä lohkon 1 pohjahan oli kuivunut varastoinnin aikana, eikä alhaalta päin ole voinut tulla kosteutta.

Auman 2 kosteuksien keskiarvot kasvoivat kaikissa lohkoissa. Vaikkakaan lohkojen väliset erot eivät osoittautuneet tilastollisesti merkitseviksi, niin lohkojen 6 ja 7 kosteus oli kuitenkin lisääntynyt 8–11 prosenttiyksikköä. Toisin kuin aumassa 1 oli aumassa 2 kosteutta kertynyt myös auman sisäosiin. Varastoinnin pitkittyessä puuaineen hajoamisesta syntyvä kosteus ei ilmeisesti ehdi poistua aumasta. Suurimmat kosteudet olivat tosin edelleenkin havaittavissa



Kuva 5. Hakkeen kosteus eri lohkoissa (puuttuva tieto = ..)
 Figure 5. The moisture content of chips in different treatments (missing information = ..).

auman päällä ja pohjalla. Lohko 5 muodosti poikkeuksen, sillä sen yläosaan oli kosteutta kerääntynyt tuskin lainkaan. Toisaalta auman pohjalla olevat hakkeet olivat hyvin kosteita, mikä tukee lohkon 2 havaintoja kosteuden kertymisestä muovin päälle.

33. Puuaineen tiheys ja kuiva-ainetappiot

Niin haketta kuin muitakin organisia aineita varastoidessa mikrobien toiminta kiihtyy ympäristön sallimissa rajoissa, mikä näkyy mm. kuiva-ainetappioina. Biomassan varastoinnissa

Taulukko 4. Koivukokopuuhakkeen tiheydet (kg/m³) lohkoittain kokeen alussa sekä lohkoittain kokeen lopussa.

Table 4. Basic density of birch whole tree chips (kg/m³) in the beginning of the experiment and in the end according to the treatment.

	Alussa Starting value	Lohko — Treatment			
		1	2	3	4
\bar{x}	442,25 ^a	459,39 ^c	423,03 ^b	433,35 ^{ab}	436,87 ^{ab}
s	11,83	14,50	40,44	32,53	20,71
		5	6	7	8
\bar{x}	447,91 ^a	410,67 ^b	405,81 ^b	401,73 ^b	420,97 ^b
s	14,67	27,47	44,07	42,12	37,01

Samalla kirjaimella on merkitty ne keskiarvot, jotka yksisuuntaisen varianssi analyysin jälkeen eivät poikenneet toisistaan ($p < 0,05$). Means indicated with the same letter do not differ from each other at 5% significance level.

tappioiden määrään vaikuttavat eniten Thörnqvistin (1984) mukaan biomassan koostumus ja kosteus, kasan koko ja lämpötila sekä varastointiaika. Mikro-organismit pystyvät yleisesti toimimaan 20–60°C:n lämpötiloissa. Jotkut kylmää kestävä sienet tosin sietävät lähellä nollaa olevia lämpötiloja ja bakteerit jopa 75°C:n lämpöä (Thörnqvist 1988). Lisäksi kemialliset reaktiot voivat nostaa auman lämpötilan syttymispisteeseen.

Aumojen kuiva-ainetappioita on tässä tutkimuksessa tarkasteltu ennen ja jälkeen varastointia mitattujen kuivatuoretiheyksien avulla. Varastoinnin aiheuttamat kuiva-ainetappiot näkyvät oheisesta asetelmasta.

AUMA 1 (Tappiot, %)				
	Lohko 1	Lohko 2	Lohko 3	Lohko 4
kuukaudessa	+0,6	-0,3	-0,1	-0,7
yhteensä	+3,9	-4,3	-2,0	-1,2

AUMA 2 (Tappiot, %)				
	Lohko 5	Lohko 6	Lohko 7	Lohko 8
kuukaudessa	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3
yhteensä	-8,3	-9,4	-10,3	-6,0

Tutkimuksen alussa mitattujen aumojen 1 ja 2 kuivatuoretiheyksien keskiarvot (442,25 ja 447,91 kg/m³) eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Varastoinnin aikana tapahtui kuitenkin muutoksia, joihin sisältyy myös

virhetekijöitä. Lohkon 1 puuaineen tiheys oli noussut tilastollisesti merkitsevästi, ja se erosi myös kaikkien muiden lohkojen tiheyksistä. Virhe johtui ilmeisesti näytteiden vääristä käsittelystä. Lohkon 4 keskiarvo laski 437 kg:aan, mutta tiheyden muutos ei ole tilastollisesti merkitsevä (taulukko 4).

Pidemmän varastointiajan takia lohkojen 2 ja 3 puuaineen tiheys laski enemmän kuin lohkoissa 1 ja 4. Niiden keskiarvot eivät kuitenkaan eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Lohkon 2 tiheys oli tosin laskenut merkitsevästi lähtöarvosta. Sen puuaineen tiheyksien jakuma oli lisäksi voimakkaasti kaksihuipunainen, mikä johtui alimmassa kerroksessa muovin päällä olleista näytteistä. Niiden tiheydet olivat selvästi keskiarvoa pienemmät (365 kg/m³). Puuaineen kosteus oli myös huomattavan suuri auman pohjalta otetuissa näytteissä, mikä lienee johtunut juuri puuaineen hajoamisesta.

Kaikkien auman 2 lohkojen puuaineen tiheydet olivat laskeneet merkitsevästi. Eniten varastoinnista oli kärsinyt katteen alla ollut hake. Lohkon 7 tappiot olivat 10,3 % ja lohkon 6 tappiot 9,4 %. Kattamattomien lohkojen 5 ja 8 tappiot olivat vastaavasti 8,3 % ja 6,0 %.

Kuiva-ainetappiot kasvoivat varastointiajan pidentyessä, mutta käsittelyt eivät eronneet paljoo toisistaan, kun varastointiaika on sama. Aikaisemmin on havaittu tappioiden keskittyneen varastoinnin ensimmäisiin kuukausiin (Thörnqvist 1983). Tässä tutkimuksessa tätä ei voitu selvästi havaita. Tosin samoin käsitellyissä, mutta eripituisia aikoja varastoiduissa lohkoissa (4, 3 ja 8) lyhyimmän ajan varastoidun lohkon 4 kuukausitappiot olivat kaikkein suurimmat. Erot lohkojen kesken olivat kylläkin pienet sen takia, että kasoissa kuivanut koivukokopuu ei sisältänyt nopeasti hajoavaa vihermassaa. Lisäksi lohkojen tiiviyydet erosivat toisistaan.

Puuaineen tiheydelle laadittiin malli, jossa selittävinä muuttujina käytettiin puuaineen kosteutta, auman lämpösomaa ja lämpösomman neliötä sekä mittauspisteen sijaintia. Auman 1 puuaineen tiheys selittyi hyvin kaikilla valittujen selittäjien yhdistelmillä, mutta auman 2 puuaineen tiheys ei selittänyt pelkästään lämpösommalla eikä mittauspisteen sijainnilla. Lämpösomman ja lämpösomman neliön vaikutus oli niin pieni kummassakin aumassa, että niiden pois jättäminen ei oleellisesti huononna mallia. Käytäntöä ajatellen pelkän kosteuden käyttö on suositeltavinta, koska se on helposti mitattavissa sekä tutkituista selittäjistä merkitsevin (taulukko 5).

Taulukko 5. Puuaineen kuivatuoretiheyden (y) riippuvuus eri tekijöistä.

Table 5. Basic density of wood (y) as a function of different variables.

Auma Pile	Regressiomalli Regression model	F-arvo F ratio	r^2
1	$462,9 - 0,29x_1 - 0,98x_2 + 0,001x_3$	8,0***	0,35
2	$442,2 - 0,99x_1 - 0,12x_2 - 0,001x_3$	7,5***	0,38
1	$458,86 + 0,10x_1 + 0,17x_2$	7,2**	0,24
2	$439,77 - 0,99x_1 + 0,004x_2$	11,5***	0,38
1	$454,25 - 0,36x_1$	3,9*	0,08
2	$440,70 - 0,97x_1$	23,4***	0,38
1	$454,36 - 0,11x_2$	13,5***	0,22
2	$409,69 - 0,02x_2$	1,1	0,02
1	$467,12 - 2,43x_4 - 8,86x_5$	5,3**	0,19
2	$398,64 - 2,36x_4 + 14,70x_5$	1,6	0,08

x_1 = Puuaineen kosteus
Moisture content
 x_2 = Lämpösumma
Heat sum
 x_3 = Lämpösumman neliö
Square of heat sum
 x_4 = Mittauspisteen korkeus
Height of the measuring point
 x_5 = Mittauspisteen syvyys
Depth of the measuring point

Kun aineisto jaettiin lohkoihin, menettivät mallit merkitsevyyttä. Mallien selittävyys vaihteli 0–86%. Auman lämpösumma ja puuaineen kosteus yhdessä ja erikseen selittivät puuaineen tiheyttä merkitsevästi lohkoissa 3 ja 7. Lisäksi auman lämpösumma ja mittauspisteen sijainti selittivät merkittävästi lohkon 1 tiheyttä (taulukko 6).

34. Kokopuuhaakkeen lämpöarvo

341. Kalorimetrinen lämpöarvo

Palamisessa aine yhtyy hapteen, jolloin vapautuu lämpöä. Lämmön määrä voidaan mitata kokeellisesti laboratoriossa polttamalla absoluuttisen kuivaa puuta puhtaassa hapessa ns. pomikalorimetrissä. Tällöin palamisessa syntyvä

Taulukko 6. Puuaineen kuivatuoretiheyden riippuvuus eri muuttujista.

Table 6. Coefficients of determination of basic density for different independent variables.

Auma Pile	Lohko Treatment	Muuttujat — Independent variables			
		Lämpösumma, kosteus Heatsum, moisture content	Puuaineen kosteus, Moisture content	Lämpösumma Heatsum	Mittauspisteen sijainti Location of the mea- suring point
				r^2	
1	1	0,44	0,12	0,43*	0,65**
	2	0,32	0,00	0,09	0,18
	3	0,60**	0,47**	0,65***	0,27
	4	0,10	0,03	0,03	0,26
2	5	0,27	0,31	0,15	0,32
	6	0,05	0,01	0,02	0,29
	7	0,86***	0,86***	0,39*	0,41
	8	0,60*	0,40	0,29	0,23

vesi tiivistyy nesteeksi ja tulokseksi saadaan kalorimetrinen lämpöarvo. Normaalissa palamisessa tätä lämpöä ei kuitenkaan saada talteen, vaan se menetetään haihtuvan vesihöyryn mukana. Tätä kutsutaan teholliseksi lämpöarvoksi, joka voidaan ilmoittaa joko kuivalle tai kostealle puulle. Edellisessä vain puun palamisessa syntyvä vesi poistuu höyrynä, jälkimmäisessä taas sekä palamisessa syntyvä että puun sisältämä vesi poistuvat vesihöyrynä.

Kun puu palaa täydellisesti, kiintoaineena jää jäljelle vain tuhka. Mitä enemmän tuhkaa on, sitä alhaisempi on lämpöarvo. Suomalaisilla puulajeilla rungon puuaineesa on tuhkaa puulajin mukaan 0,39–0,45% ja rungon kuorassa 2,18–3,50% (Hakkila & Kalaja 1983). Mikäli kivennäismaata sekoitettu polttohaakkeen joukkoon, tuhkapitoisuus saattaa olla huomattavasti todellisia arvoja suurempi (Thörnqvist 1983). Alla oleva asetelma osoittaa tuhkan määrän vaihdelleen suuresti tämän tutkimuksen aineistossa. Lämpöarvo on syytä laskea myös tuhkattomalle puulle, koska osaan näytteistä oli sekoittunut hyvin runsaasti kivennäismaata kuormatraktoriin kuljettajan huolimattomuuden vuoksi.

Tuhkaprosentti					
	Alussa	Lohko1	Lohko2	Lohko3	Lohko4
Keskiarvo	1,8	0,7	0,8	0,9	1,1
Hajonta	2,8	0,5	0,3	0,3	1,1
Maksimi	11,0	3,1	1,4	1,7	6,7
Minimi	0,4	0,3	0,5	0,4	0,5
	Alussa	Lohko5	Lohko6	Lohko7	Lohko8
Keskiarvo	1,5	2,9	6,0	5,2	3,2
Hajonta	0,9	3,1	6,5	5,1	3,5
Maksimi	3,0	10,6	28,3	19,9	14,5
Minimi	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7

Varastoinnin pituus, kattaminen ja pohjustaminen vaikuttivat hyvin vähän ja usein eivät lainkaan polttohakkeen kalorimetriseen lämpöarvoon (taulukko 7). Aumassa 1 lohkojen 1–4

lämpöarvot ovat hieman lähtöarvoa korkeampia, mikä johtuu näytteiden lähtöarvoa alhaisemmasta tuhkapitoisuudesta. Kun lämpöarvot lasketaan tuhkatommalle puulle, eri käsittelyjen ja kokeen alussa saadut arvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Toisessa aumassa lohko 6 erosi alussa saaduista tuloksista merkitsevästi, mutta käsittelyjen kesken ei havaittu eroja. Koska tuhkan määrä oli huomattavan suuri aumassa 2, laskettiin lämpöarvo tuhkatommalle puulle. Tällöin lohko 6 ja lähtötilanne eivät enää eroakaan merkittävästi. Käsittely ei siis vaikuttanut kalorimetriseen lämpöarvoon, vaan tässä tapauksessa kivennäismaan sekoittuminen on vaikuttanut eniten lämpöarvoon (Thörnqvist 1983).

Taulukko 7. Käsittelyn vaikutus kokopuuhaakkeen lämpöarvoihin.
Table 7. The effect of treatment on the heating value of whole tree chips.

Lämpöarvo, MJ/kg Heating value, MJ/kg	Alussa Starting value	Lohko — Treatment				F-arvo F value
		1	2	3	4	
Kalorimetrinen Calorimetric	20,181	20,331	20,387	20,325	20,282	1,25
— tuhkaton puu ash free wood	20,552	20,471	20,560	20,505	20,514	0,50
Tehollinen Effective						
— kuiva puu oven dry wood	18,909	19,049	19,106	19,072	19,006	1,26
— tuhkaton puu ash free wood	19,259	19,181	19,267	19,241	19,224	0,46
— kostea puu moist wood	17,483 ^{ab}	18,166 ^a	17,065 ^b	17,909 ^{ab}	17,658 ^{ab}	3,38 ^{**}
— kostea, tuhkaton puu moist, ash free wood	18,195 ^{ab}	18,297 ^a	17,225 ^b	18,079 ^{ab}	17,876 ^{ab}	3,51 ^{**}
	Alussa Starting	Lohko — Treatment				F-arvo F value
		5	6	7	8	
Kalorimetrinen Calorimetric	20,449 ^a	20,176 ^{ab}	19,608 ^b	19,798 ^{ab}	20,131 ^{ab}	3,88 ^{**}
— tuhkaton puu ash free wood	20,768	20,792	20,888	20,902	20,809	0,25
Tehollinen Effective						
— kuiva puu oven dry wood	19,179 ^a	18,938 ^{ab}	18,385 ^b	18,567 ^{ab}	18,883 ^{ab}	3,86 ^{**}
— tuhkaton puu ash free wood	19,478	19,519	19,586	19,604	19,520	0,20
— kostea puu moist wood	18,079 ^a	17,304 ^{ab}	15,804 ^b	16,450 ^{ab}	16,816 ^{ab}	4,01 ^{**}
— kostea, tuhkaton puu moist and ash free wood	18,380 ^a	17,883 ^{ab}	17,005 ^b	17,486 ^{ab}	17,452 ^{ab}	2,51 [*]

Kuivan puun tehollisten lämpöarvojen erot käsittelyjen välillä olivat yhtä pienet kuin kalorimetristen lämpöarvojen erot, koska eri lohkojen puuaine on sisältänyt saman verran vetyä (5,8 %). Tällöin myös puun palamisessa syntyneen vesihöyryn sisältämä energia määrä on ollut sama.

Kostean puun tehollinen lämpöarvo voidaan ilmaista joko kuivaa tai kosteaa massaa kohti. Tässä yhteydessä on laskennan perusteena käytetty näytteen kuivaa massaa. Kostean puun tehollinen lämpöarvo saadaan vähentämällä kuivan puun tehollisesta lämpöarvosta puun sisältämän veden höyrytymislämpö:

$$W_{\text{eff}} = W_a - 2,45 \times \frac{u}{100 - u}$$

missä:

W_{eff} = kostean puun tehollinen lämpöarvo kuivaa puukiloa kohti (MJ/kg)

W = kuivan puun tehollinen lämpöarvo

2,45 = veden höyrytymislämpö 20°C:n lämmössä (MJ/kg)

u = puun kosteusprosentti

Koska lohkojen 1 ja 2 kosteudet erosivat toisistaan merkitsevästi, erot heijastuivat myös kostean puun tehollisissa lämpöarvoissa. Tuhkan määrä ei vaikuttanut auman 1 eroihin. Sen sijaan aumassa 2 lohkon 6 ja alkutilanteen välinen ero muodostuu kosteuden ja tuhkan yhteisvaikutuksesta. Käsittelyn aiheuttama kosteuden lisääntyminen on myös laskenut huomattavasti lohkojen 7 ja 8 keskiarvoja. Vaikka kosteuden muutokset eivät olleetkaan tilastollisesti merkitseviä, kosteudesta johtuva energiasisällön aleneminen olisi niin huomattavaa, että se vaikuttaisi polttohakkeen hintaan.

Kun kosteuden, tuhkan ja kuiva-ainetappioiden yhteisvaikutus otetaan huomioon, lohkojen energiasisältö oli muuttunut seuraavasti:

AUMA 1			
Lohko 1	Lohko 2	Lohko 3	Lohko 4
+4,5	-9,4	-2,6	-2,9
AUMA 2			
Lohko 5	Lohko 6	Lohko 7	Lohko 8
-10,8	-16,2	-14,7	-10,8

Varastoinnin pituus sekä muovilla kattaminen alensivat siis oleellisesti suuressa aumassa varastoidun kokopuuhaakkeen energiasisältöä.

4. Johtopäätökset

Hakkeen varastoinnin aikana korkotappioiden sekä työ- ja materiaalikustannusten lisäksi taloudellisia menetyksiä aiheuttavat kuiva-ainetappiot ja energiasisällön aleneminen. Vaikka näiltä haitoilta ei aina voidakaan välttyä, niitä voidaan kuitenkin vähentää. Varastointi on pidettävä mahdollisimman lyhyenä kuiva-ainetappioiden välttämiseksi. Myös auma tulee pitää pienenä, sillä mitä korkeampi ja laajempi auma on sen korkeampia ovat lämpötila ja kuiva-ainetappiot. Aiemmissa tutkimuksissa on todettu tappioiden olevan suurimpia varastoinnin alussa. Tällaista tulosta ei saatu tässä tutkimuksessa, koska vihermassaa ei ollut. Onkin oleellista poistaa vihermassa jo ennen haketusta. Tämä on helpointa jättämällä kaadetut puut kuivumaan rasiin, jolloin myös lehtien sisältämät ravinteet palautuvat metsämaahan.

Hakkeen peittämisen katsotaan yleisesti parantavan puun säilyvyyttä, koska se estää veden ja lumen pääsyn hakkeeseen. Tämän tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan vahvista tätä käsi-

tystä. Muovin alla olleen hakkeen kosteuksien keskiarvot olivat samaa luokkaa tai suuremmat kuin peittämättömien lohkojen. Lisäksi katettujen lohkojen kuiva-ainetappiot olivat muita lohkoja suuremmat. Koska kattaminen on myös kallista, suuren auman kattaminen muovilla ei ole perusteltua.

Pohjan vaikutuksesta hakkeen ominaisuuksiin ei voida olla yhtä varmoja kuin muovipeitteen tarpeettomuudesta, koska tiivistyminen sekoitti koejärjestelyt. Ilmeisesti pitkän varastoinnin aikana kosteutta kerääntyy auman pohjalla olevan muovin päälle. Jos muovia ei käytetä, pääsee kosteus imeytymään maahan. On myös mahdollista, että muovi estää maassa olevan ilman pääsyn auman sisäisen ilmankiertoon, jolloin auman alaosissa oleva kosteus ei pääse nousemaan kaasujen mukana auman pinnalle. Vaikka muovi onkin haitallista hakkeen kosteuden kannalta, estää se kivennäismaata sekoittumasta hakkeeseen. Tämä on melkoinen etu polttolaitosten kannalta. Vaikka pohjamuovin käyt-

tö onkin helpoaa, liittyy siihenkin kustannuksia, joita hakkeen käyttäjä ei epävarman edun vuoksi halunnakaan maksaa.

Koska auman tiivistyminen on epäedullista hakkeen säilymisen kannalta, niin aumauksessa tulisi välttää kuorma- ja puskutraktorin käyttöä. Tiivistymisen estämiseksi suositeltavin vaihtoehto on haketta puut suoraan aumaan. Toinen vaihtoehto on aumata hake kuljettimella, mutta

tämä on hidasta ja kallista.

Varastointi vaikuttaa hyvin vähän hakkeen lämpöarvoon, mikäli hake pidetään kivennäis- maasta puhtaana. Tällöin hakkeen lämpösisältöön vaikuttavat enää vain puuaineen kosteus ja kuiva-aine tappiot. Näiden vaikutusta voidaan pienentää optimoimalla kokopuiden esikäsitteily, varastoinnin pituus sekä välttämällä muovikatteiden käyttöä.

Kirjallisuus

- Aittomäki, S. 1963. Tutkimuksia polttihakkeen ja pilkkeiden kuivatuksesta ulkoilman avulla. Pienpuualan Toimikunnan julkaisu 151. 38 s.
- Alestalo, A. 1982. Kuoren ja muun biopoltoaineen kuivaus aurinkoenergialla. Tutkimuslause. *Diario* 235/881/80 KTM. Enso Gutzeit Oy. Julkaisematon. 44 s.
- Annergren, G., Dillen, S. & Wardheim, S. 1964. On outside storage of sprucewood chips for sulphite pulping. *Svensk Papperstidning* (67)4: 125–145.
- Arola, R.A., Sturos, J.B. & Radcliffe, R.C. 1988. Chunkwood drying research with northern U.S. hardwoods. Teoksessa: Production, storage and utilization of wood fuels. Proceedings of IEA/BE Conference TASK III/Activity 6 and 7 held in Uppsala, Sweden December 6–7, 1988. Vol. II. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 134/1988.
- Belin, L. 1984. Allergic alviolititsfungaal spores. Teoksessa: Gisleerud, O. & Heding, N. Storing, drying and internal handling of wood fuels. Proceedings of a conference held by the International Agency (IEA) Forestry Energy Programme Group C on June 22, 1984 in Copenhagen, Denmark. Danish Institute of Forest Technology. s. 12–15.
- Bergman, Ö. & Nilsson, T. 1966. Studier över utomhuslagring av tallvedsflis vid Lövhölmens Pappersbruk. Summary: On outside storage of pine chips at lövhölmens Paper Mill. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Rapporter 53. 83 s.
- & Nilsson, T. 1967. Studier över utomhuslagring av aspvedsflis vid Hörnefors Sulfittfabrik. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Rapporter 55. 105 s.
- & Nilsson, T. 1968. Studier över utomhuslagring av björkvedsflis vid Mörrums Bruk. Summary: On outside storage of birch chips at Mörrum's Sulphate Mill. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Rapporter 60. 104 s.
- & Nilsson, T. 1971. Studies on outside storage of sawmill chips. Sammanfattning: Studier över utomhuslagring av sågverksflis. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Uppsatser R71. 102 s.
- & Nilsson, T. 1974. Studies on wood deterioration in outside storage of a commercial pine chip pile. Sammanfattning: Studier över vednedbrytning vid utomhuslagring av en tallflisstack. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Rapporter R93. 75 s.
- & Nilsson, T. 1979. An experiment on outdoor storage of whole-tree chips. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport R109. 21 s.
- Björklund, L. 1982. Lagring av bränsleflis i fraktionen 25–30 mm. Summary: Storage of fuelwood chips in fraction 25–30 mm. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Uppsatser 115. 26 s.
- 1983. Lagring av helträdsflis av olika trädslag samt i olika fraktioner. Summary: Storage of whole-tree chips of different species and in different fractions. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 143. 50 s.
- Faeste, I. & Johansson, K.J. 1982. Tørkeforløp i syrefelte traer under forskjellige lagringsforhold. Zusammenfassung: Trocknungsverlauf bei ungeasteten Bäumen Unter verschiedenen Lagerungsverhältnissen. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 2. 32 s.
- Fredrikson, H. & Rutegård, G. 1985. Lagring av småved och bränsleflis i bing. Summary: Storage of chunkwood and fuel chips in bins. Uppsats. Inst. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv. 151. 23 s.
- Gisleerud, O. 1974. Heltreutnyttelse V. Lagring av heltreflis. Summary: Whole tree utilization V. Storing of whole tree chips. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 5. 29 s.
- 1978. Lagring av lauvtrefflis. Et lagringsforsøk med Sande Paper Mill A/S. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 9. 37 s.
- 1983. Experimental drying and storing of fuel chips. NISK. IUFRO — moniste. 5 s.
- & Grønlien, H. 1977. Lagring av heltreflis. Et lagringsforsøk med flis fra tynningsvirke ved Norsk Wallboard A/S, Gjøvik. Summary: Storage of whole-tree chips. A storage experiment with chips from thinnings at Norsk Wallboard A/S, Gjøvik. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 1. 34 s.
- & Grønlien, H. 1978a. Lagring av or. Et lagringsforsøk ved Meraker Smelteverk A/S. Summary: Storage of whole-tree chips of gray alder. A storage experiment at Meraker Smelteverk A/S. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 1. 36 s.
- & Grønlien, H. 1978b. Lagring av lauvtrefflis. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 9. 77 s.
- Gjølssjø, S. 1988. Comparative studies on storage and drying of chips and chunks in Norway. Teoksessa: Production, storage and utilization of wood fuels. Proceedings of IEA/BE Conference TASK III/Activity 6 and 7 held in Uppsala, Sweden December 6–7, 1988. Vol. II. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 134/1988.
- Gustafsson, G. 1981. Grundläggande studier av torkning

- och lagring av bränsleflis — Etappraport 2. Nämnden för Energiproduktions forskning. NE/Bio-81-18.
- 1988. Forced air drying of chips and chunkwood. Teoksessa: Production, storage and utilization of wood fuels. Proceedings of IEA/BE Conference TASK III/Activity 6 and 7 held in Uppsala, Sweden December 6–7, 1988. Vol. II. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 134/1988.
- Hajny, G. 1966. Outside storage of pulpwood chips. *Tappi* (49) 10, 97–105.
- Hakkila, P. 1962. Polttohakkepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 54(4). 82 s.
- 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. *Folia Forestalia* 342. 32 s.
- 1984. Metsähakkeen hankinta lämpölaitosten polttoaineeksi. *SITRA. Tutkimusraportti* 33. 121 s.
- & Kalaja, H. 1981. KOPO palahakejärjestelmä. Summary: KOPO block chip system. *Folia Forestalia* 467. 24 s.
- Heiskanen, V. & Hakkila, P. 1960. Polttohakkepuun kuivuminen rasissa. *Pienpuualan Toimikunnan tiedotus* 17. 6 s.
- & Jokihaara, L. 1961. Puupolttaineiden lämpöarvosta. *Pienpuualan Toimikunnan tiedotus* 33. 5 s.
- Hudson, B., Mitchell, P.C. & Gardner D. 1988. A comparative study on storage and drying of chips and chunks in the UK. Teoksessa: Production, storage and utilization of wood fuels. Proceedings of IEA/BE Conference TASK III/Activity 6 and 7 held in Uppsala, Sweden December 6–7, 1988. Vol. II. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 134/1988.
- Høeg, H. 1980. Forekomst av soppspor i forbindelse med flisfyringsanlegg og lagring av flis. *Norsk Institutt for Luftforskning. Oppdragsrapport* 29. 36 s.
- 1981. Forekomst av soppspor med flisfyringsanlegg og lagring av flis. II. *Norsk Institutt for Luftforskning. Oppdragsrapport* 26. 16 s.
- Häkanson, K. & Numminen, J. 1963. Tutkimus hakkeen polttoarvon muutoksista sitä varastoitaessa. *Imatran Voima Oy. Julkaisemat raportti*. 41 s.
- Ilmatieteen laitos. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Vuosikerrat 1977–1979.
- Immonen, V. 1961. Hakkeen varastointia ja halkojen laatua koskevia tutkimuksia Turenkin Sokeritehtaalla v. 1958 ja 1959. Summary: Studies of the storage chips and quality of split fuelwood at Turenki sugar mill in 1958 and 1959. *Pienpuualan Toimikunnan julkaisu* 96. 30 s.
- Jalava, M. 1941. Rasiin kaadettujen puiden kuivumisesta. *Metsätaloudellinen Aikakauskirja* 58(6): 173–176.
- Koch, P. 1983. Moisture changes in oak and hickory fuel chips on roofed and unroofed Louisiana airdrying grounds as affected by pile depth and turning of chips. *Forest Products Journal* 33(6): 59–61.
- Kofod, E.O. 1983. Biologiske og kemiske processer i brændsels flislagre. Torstoftab, udtorrning og sundhedsrisici. *Skovteknisk Institut. The Danish Institute of Forest Technology*. 19 s.
- Kärkkäinen, M. 1977. Puu — sen rakenne ja ominaisuudet. Helsinki. 442 s.
- Lehtonen, I. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature. *Folia Forestalia* 293. 16 s.
- Levanto, S. 1961. Tutkimuksia 2-metrisen koivupolttopuun hakkuusta kesällä sekä rasiinkaatoa käytettäessä. Summary: Studies on summer felling and preparation of 2-metre birch fuelwood. *Pienpuualan Toimikunnan julkaisu* 130. 54 s.
- Liss, J-E. 1979. Syrfällning. Institutionen för Skogsteknik, Skogshögskolan. Garpenberg. Stencil 73. 20 s.
- Mivell, T. 1988. Comparisons of storages of chunkwood and fuel chips in Sweden. Teoksessa: Production, storage and utilization of wood fuels. Proceedings of IEA/BE Conference TASK III/Activity 6 and 7 held in Uppsala, Sweden December 6–7, 1988. Vol. II. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 134/1988.
- Nurmi, J. 1986. Chunking and chipping with conescrew chipper. Summary: Palahakkeen ja hakkeen valmistus kartioruuvihakkurilla. *Folia Forestalia* 659. 23 s.
- 1987. Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa. Summary: Drying of fuel chips and chunks in wooden bins. *Folia Forestalia* 687. 40 s.
- Nylinder, M. 1979. Relationstal träbränslen — olja. Summary: Conversion factors fuelwood — oil. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport* 110. 51 s.
- Pellikka, M. 1983. Homepölyaltistus polttihakkeen käsittelyn yhteydessä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 81. 76 s.
- & Kotimaa, M. 1983. Polttohakkeen käsittelystä aiheutuva ilman homepölypitoisuus sekä siihen vaikuttavat tekijät. Summary: The mould dust concentration caused by the handling of fuel chips and its modifying factors. *Folia Forestalia* 563. 18 s.
- Pesonen, M. 1982. Homepölyaltistus maatioilla hakkeen käytön yhteydessä. *Emissio* 1/82. s. 19–21.
- Salmi, J. 1964. Lahovikaisuuden vaikutus koivupuun lämpöarvoon. Summary: The influence of decay on the heat value of birch wood. *Pienpuualan Toimikunnan julkaisu* 168. 27 s.
- Smith, R.S. & Ofosu-Asiedu, A. 1972. Distribution of thermophilic and thermotolerant fungi in a spruce-pine chip pile. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 16–26.
- Simola, P. & Mäkelä, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. *Folia Forestalia* 273. 18 s.
- Strömquist, L-H., Blomqvist, G., Karlsson, E., Vincent, A., Lundgren, R. & Eliasson, L. 1980. Bränsleflishantering — ett hälsoproblem? Umeå Universitet, Umeå.
- Sturos, J.B. 1984a. Characterization and air drying of chunkwood and chips. *USDA. For. Serv. Res. Note NC-308*.
- 1984b. Ambient air drying trials — chunkwood versus chips. *Biomass Fuel Drying Conference Proceedings 1984-08-08*. Office of Special Programs, 405 Coffey Hall, Univ. of MN., St. Paul, MN 55108.
- Taipale, A. 1960. Tutkimuksia polttihakkeen varastoinnista. Summary: Studies of the storage of fuel chips. *Pienpuualan Toimikunnan julkaisu* 100. 47 s.
- 1962. Sahanhakkeen kuivuminen avokeossa ja kate-tussa varastossa. Summary: Seasoning of chips made of sawmill waste in uncovered stack and covered store. *Pienpuualan Toimikunnan julkaisu* 141. 27 s.
- 1963. Sahanhakkeen kuivumisesta varastossa. *Teho* 3.
- Thörnqvist, T. 1980. Lagring av bränsleflis i perforerade plastsäckar. Summary: Storing of fuel chips in perforated plastic bags.

- rated plastic bags. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 115. 50 s.
- 1982. Torkning av bränsleflis med solfångaruppvärmd luft. Summary: Drying of fuel chips with solar panel warmed air. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 126. 56 s.
- 1983. Bränsleflis förändring under ett års lagring. Summary: Fuel chips change during one year of storage. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 148. 65 s.
- 1984. Hyggesrester som råvara för energiproduktion — torkning, lagring, hantering och kvalitet. Institutionen för virkeslära. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapport 152.
- 1987. Bränder i stackar med sönderdelat trädbränsle. Summary: Spontaneous combustion in piles with comminuted wood fuel. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Uppsats 163.
- 1988. Wood storage in large piles. Mechanism and risk of self-ignition. Teoksessa: Production, storage and utilization of wood fuels. Proceedings of IEA/BE Conference TASK III/Activity 6 and 7 held in Uppsala, Sweden December 6–7, 1988. Vol. II. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsater och resultat 134/1988.
- & Lundström, H. 1980. Svampförekomst vid bränsleflis hantering i mindre anläggningar. Summary: Factors affecting the occurrence of fungi in fuel chips for domestic consumption. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 117. 38 s.
- & Gustafsson, G. 1983. Kalluftstorkningens betydelse för bränsleflisens lagringsbarhet. Summary: The importance of air drying for the storing property of fuel chips. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 142. 75 s.
- Turkkila, K. & Knut, S. 1982. Homeiden määrä ja laatu maatilojen hakkeessa. Summary: The amount and species of the moulds in the chips of farms. Työtehoseuran metsätiedotus 344. 4 s.
- Uusvaara, O. 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. SITRA. Tutkimusraportti 35. 30 s.
- Warsta, O. 1961. Rasiin kaadetun koivun ja lepän kuivumisesta. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus 43. 8 s.
- White, M.S., Curtis, M.L., Sarles, R.L. & Green, D.W. 1983. Effects of outside storage on the energy potential of hardwood particulate fuels: Part 1. Moisture content and temperature. Forest Products Journal 33(6): 31–38.

Total of 72 references

Summary

Longterm storage of fuel chips in large piles

In addition to labor and material costs as well as interest losses, the long term storage of fuel chips in large quantities will cause significant dry matter losses and reductions in net energy content. Still, it is necessary to use buffer storages in climates where snow and cold will prevent contractors from supplying heating facilities in the most severe winter conditions. The purpose of this study was to find ways to reduce these disadvantages as much as possible.

The study location was chosen on the southwest side of Lokka reservoir in Sodankylä at latitude 68 degrees north. Here the material for the study happened to be already available. It is also one of the coldest areas of the country providing a great need for heating. The town itself has a 20 MW heating plant which operates on fuel chips.

Two 3000 m³-loose piles of whole tree chips of small-sized birch (*Betula pubescens*) were constructed. The whole trees had been stock-piled for a year before chipping which took place in early September about a month before the arrival of permanent snow. A large truck mounted disc chipper was used to comminute the wood. The chips were directly blown into a van and transported to the storage site some 3 km from the chipping site. Here they were piled into two 50 meter long and 6–8 meter high piles with the help of a wheeled tractor loader.

It is commonly thought that fuel chip piles should be covered to prevent rain and snow from getting into the

pile. It is also thought that dry matter losses will increase with time, the majority taking place during the early stages of storage.

To test these arguments the piles were divided into treatments in the following way. Plastic was laid down on the ground to act as an underbase for the other half of each pile. The center of the piles was covered with the same plastic giving a total of four combinations of cover and underbase and a total of eight treatments in two piles. After couple of weeks it was found out that it was impossible to hold the cover over pile 1 because of the high winds. It was decided not to cover the pile at all but to store the treatments 1 and 4 for about six months and treatments 2 and 3 for a year. The whole pile 2 — treatments 5 through 8 — was stored for a year and a half.

The effects of storage on wood were determined on the bases of moisture content, dry matter losses and heating value. Reference samples were collected when constructing the pile. Net bags filled with chips were also placed in the pile in one meter grid. This was to help the sampling procedure when destructing the piles. Pile temperatures were also monitored in each treatment.

The moisture content of chips at the end of the experiment was 31.1% ($s = 1.3$) for pile 1 and 30.9% ($s = 2.6$) for pile 2 on wet bases. This indicated a very significant reduction in moisture content prior to chipping. Also the uniformity of the moisture did give good bases for the

study. The same could be said about the wood density.

When the treatments 1 and 4, and later 2 and 3 where destructed the moisture was found to have collected on the outer and upper parts of the pile. The interior and the bottom layers had lost moisture. An exception to this is treatment 2 where the chips overlaying the plastic had gained moisture. Similar observations were made with the uncovered treatments of pile 2. The covered treatments 6 and 7, however, had some fairly high moisture concentrations even in the interior of the pile. The moisture originating from decay had no escape because of the cover and started to accumulate over time in all parts of the pile. Of all the treatments only 1 and 2 were statistically different. However, in spite of the lack of statistical evidence the chips had gained moisture over time and would definitely influence the pricing of chips.

When chips, like any organic material, are stored, the microbial fauna will be activated according to the environmental restrictions. The most important factors affecting the dry matter losses are composition of biomass, moisture, temperature, size of pile and duration of storage.

The dry matter losses for each treatment are given below. Reductions were significant in all treatments. Dry matter losses did increase with time. The greatest losses were found in covered treatments. The losses were not found to be any greater in the beginning. This may be contributed to the fact that the chips did not contain any green matter or living parenchyma cells. The figures for treatment 1 are positive due to an error in the experiment.

Treatment	Cover	Under base	Storage time, months	Dry matter losses, % /month	Dry matter losses, % total	Change in energy content, %
1	no	yes	5.5	+0.6	+3.9	+4.5
2	no	yes	14	-0.3	-4.3	-9.4
3	no	no	14	-0.1	-2.0	-2.6
4	no	no	5.5	-0.7	-1.2	-2.9
5	no	yes	18	-0.4	-8.3	-10.8
6	yes	yes	18	-0.4	-9.4	-16.2
7	yes	no	18	-0.5	-10.3	-14.7
8	no	no	18	-0.3	-6.0	-10.8

Calorimetric or higher heating value is the amount of heat given by burning an oven dry sample of wood when the moisture created during combustion is condensed. When the moisture is let to evaporate we are left with effective or lower heating value of dry wood. The effective heating value of wet wood requires also the evaporation of moisture contained by wood.

When wood is completely burned only ash is left behind. The greater the amount of ash the lower the heating value. Depending on the tree species the ash content of stem wood is 0.4–0.5% and 2.2–3.5% of stem bark. It is common that mineral soil gets mixed with whole trees during harvesting and with chips during storage and increases the ash content. To avoid this mishandling of fuel the results of this study are expressed for ash free wood.

From Table 7 it is seen that the treatments were found not to be different on calorimetric or on effective heating value bases for oven dry wood. In treatments 5–8 however, they have slightly increased. This indicates an attack by brown rot which digests cellulose and leaves lignin with higher heating value. The highest increases were found with those covered treatments which also had the highest dry matter losses.

The effective heating value is greatly dependent on moisture content. One remembers that the treatments had somewhat different moisture contents. When they are taken into consideration more pronounced differences are found between the treatments. The greatest ones are found in pile 2 which indicates the negative effect of prolonged storage. When the dry matter losses are taken into consideration the total losses in energy content (%) are as indicated below.

Based on these results, it can be concluded that to avoid dry matter losses, increased moisture content and losses in the net heating value the storage time should be kept to minimum and that the piles should not be covered with plastic when it is used in direct contact with the pile.

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) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 533 1404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 1381

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

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

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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



- No 760 Aarne, Martti, Uusitalo, Matti & Herrala-Ylinen, Helena (toim.): Metsätilastollinen vuosikirja 1989.
Yearbook of forest statistics, 1989.
- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvituhot.
Condition of sapling stands on the lichen heaths of Hailuoto and damage by moose.
- No 762 Saarenmaa, Liisa: Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Lapissa.
Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish Lapland.
- No 763 Hotanen, Juha-Pekka & Nousiainen, Hannu: Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyypin rinnastettavuus.
The parity between the numerical units and site types of forest and mire vegetation.
- No 764 Hirvelä, Hannu & Hynynen, Jari: Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa.
Effect of fertilization on the growth, top damage and susceptibility to windthrow of Scots pine stands in Lapland.
- No 765 Uotila, Esa & Peltola, Aarre: Hankinta- ja pystykaupan tulojen katelaskentamenetelmä.
A method for calculating residual incomes from delivery and standing sales of timber.
- No 766 Selander, Jukka, Immonen, Auli & Raukko, Pekka: Luontaisen ja istutetun männyntaimen kestävyys tukkimiehentäitä vastaan.
Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae).
- No 767 Nurmi, Juha: Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa.
Longterm storage of fuel chips in large piles.
- 1991
- No 768 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*.