

FOLIA FORESTALIA 687

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

JUHA NURMI

POLTOHAKKEEN KUIVATUS
TRAKTORIKONTEISSA

DRYING OF FUEL CHIPS AND
CHUNKS IN WOODEN BINS



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
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 valtionmetsiä 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.

FOLIA FORESTALIA 687

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1987

Juha Nurmi

POLTTOHAKKEEN KUIVATUS TRAKTORIKONTEISSA

Drying of fuel chips and chunks in wooden bins

Approved on 10.4.1987

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT	5
21. Traktorikonttien rakenne	5
22. Kuivumisen ajankohdat ja kesto	6
23. Kuivumisen seuranta	7
24. Näytteiden otto ja käsittely	9
25. Ilmastolliset tilastot	9
26. Kuiva-ainetappiot ja tehollinen lämpöarvo	13
27. Tilastollinen tarkastelu	14
3. KUIVATUSKOKEEN TULOKSET HAKE-ERITTÄIN	14
31. Kevään kaatotuore hienohake	14
32. Kevään kaatotuore palahake	16
33. Kesän kaatotuore hienohake	19
34. Kesän kaatotuore palahake	20
35. Kesän rasikuiva hienohake	20
36. Kesän rasikuiva palahake	21
37. Syksyn rasikuiva hienohake	22
38. Syksyn rasikuiva palahake	23
4. HAKE-ERIEŦ VÄLISET EROT TEKIJÖITTÄIN	25
41. Hakkeen palakoon vaikutus	25
42. Kuivatusajan vaikutus	25
43. Konttityypin vaikutus	27
44. Puulajin vaikutus	27
5. TULOSTEN TARKASTELU	29
KIRJALLISUUS — REFERENCES	30
SUMMARY	32
LIITTEET — APPENDICES	34

NURMI, J. 1987. Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa. Summary: Drying of fuel chips and chunks in wooden bins. *Folia Forestalia* 687. 40 p.

Polttohakkeen kuivatusta 15 m³:n puisissa traktorikonteissa tutkittiin viidellä Etelä-Suomen paikkakunnalla vuosina 1981 ja 1982. Tutkimuksessa selvitettiin hakkeen palakoon, kuivatuksen ajankohdan, rasiinkaadon, puulajin ja kontin mallin vaikutuksia. Kaikkiaan kuivatettiin noin 1100 i-m³ haketta.

Palahake kuivui hienohaketta nopeammin. Kaatotuoreiden hakkeiden kuivumisnopeuksien ero oli 2—3-kertainen, kun haketta kuivattiin 20—30 %:n kosteuteen. Rasikuivatuksen ansiosta palakoon merkitys pieneni. Hienohakkeen keskimääräinen tehollinen lämpöarvo oli noin 2770 MJ/i-m³ ja palahakkeen noin 2760 MJ/i-m³. Lämpöarvon lisäys oli hienohaketta käytettäessä keskimäärin 1,3 % ja palahaketta käytettäessä 3,4 %.

Touko-elokuun välinen aika osoittautui parhaaksi kuivatuksen ajankohdaksi. Aikainen kevät sekä syksy ovat ilmaston takia huonoja ajankohtia. Alun perin vähäisemmän kosteutensa ansiosta pääsi rasipuista tehty hake ilman kanssa kosteustasapainoon kaatotuoreita hakkeita nopeammin.

Lepän ja koivun välisten puuteknologisten erojen ei havaittu vaikuttavan puun kuivumiseen. Verkkokontin sijaan osoittautui lautakonttia paremmaksi. Palakoon vaikutus näytti myös pienenevän verkkokonttia käytettäessä.

Drying fuel chips and chunks in 15 m³ wooden bins was studied on five locations in Southern Finland in 1981 and 1982. The effects of particle size, season, leaf seasoning, bin type and tree species were observed. Altogether some 1100 loose m³ of chips and chunks were dried.

Chunks dried faster than chips. Chunks made from freshly comminuted wood dried 2-3 times faster than chips to 20-30 % moisture content. However, the difference between chips and chunks decreased when leaf-seasoned trees were used in comminution. The mean effective heat value of chips was 2770 MJ/m³ loose and 2760 MJ/m³ loose for chunks. The net increase of heat value on actual gain basis was 1,3 % for chips and 3,4 % for chunks.

The period from May until the end of August proved to be the best drying season. Early spring and fall are not as good because of climatic reasons. Chips and chunks made from seasoned trees reached an equilibrium moisture content with the ambient air faster than chips and chunks made of fresh trees because of the lower starting moisture content.

The wood technological differences between alder and birch were not found to have any effect on drying. The wire mesh bin on the other hand turned out to be better than the wooden bin. The effect of particle size was also decreased when wire mesh bins were used.

Keywords: dry matter losses, heat value, fuelwood harvesting, leaf-seasoning, wood moisture content
ODC 831.1+861.0+847.1

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

MERKKIEN SELITYKSET — KEY TO SYMBOLS

y = Hakkeen kosteus prosentteina tuorepainosta
Moisture content in green weight basis
x = Kuivatusaika viikkoina
Drying time in weeks
r² = Selitysaste
Coefficient of determination

Paikkakunnat — *Localities*
□ = Janakkala
× = Joroinen
○ = Hyrylä
△ = Ylihärmä
+ = Pyhtää

ISBN 951-40-0780-8

ISSN 0015-5543

Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Polttohakkeen käyttö maassamme alkoi 1960-luvulla. Tällöin sen soveltuvuutta maatalojen ja pientalouksien käyttöön tarkastelivat mm. Jokihaara (1959) ja Heliövaara (1960, 1961). Käytön laajuutta koskevia selvityksiä tekivät Kantola (1961) ja erityisesti Anttila (1961). Kiinnostus polttohaketta kohtaan hiljeni kuitenkin vuosikymmenen ajaksi, mutta se alkoi uudelleen 1970-luvulla öljykriisin aikana. Sen tuloksena muodostettiin kansallinen energiapoliittinen ohjelma vuonna 1979, joka uusittiin 1983. Ohjelman olennaisena osana oli polttohakkeen käyttö. Aiheesta on syntynyt useita tutkimuksia ja tutkimuskokonaisuuksia, joista mainittakoon Kotimaisten... (1983), Hakkila (1984) sekä Immonen ja Seppälä (1984).

Puupolttoaineiden yhtenä erona fossiilisiin polttoaineisiin nähden on puun ominaisuuksien, mm. kosteuden ja tiheyden suuri vaihtelu. Puulajin ja kosteuden vaikutusta lämpöarvoon ovat tarkastelleet Heiskanen ja Jokihaara (1961), Lehtonen (1977) sekä Hakkila (1978). Lahovikaisuuden vaikutusta lämpöarvoon on tutkinut Salmi (1964). Yleiseltä kannalta ovat polttopuun ominaisuuksia käsitelleet Kärkkäinen (1977) ja Kofod (1983). Lisäksi Nylinder (1979) on selvittellyt polttoarvon riippuvuutta puun kosteudesta sekä puun kilpailukykyä polttoaineena öljyyn verrattuna. Vastaavasti Parikka (1984) on verrannut metsähakkeesta saatavan energian hintaa kivihiilen hintaan.

Puuaineen kosteus on tärkeä ominaisuus puun polton onnistumisen kannalta. Kosteus riippuu etupäässä puun käsittelystä ja varastoinnista. Pienpuualan toimikunnan aikana tehtiin useita polttohakkeen pien- ja suurkanyttöön kohdistuneita tutkimuksia (mm. Taipale 1960, 1962, 1963, Aittomäki 1963). Tämän vuosikymmenen puolella puhallusilmalla suoritettuja kuivatuskokeita ovat tehneet Gustafsson (1981), Thörnqvist (1982), Thörnqvist ja Gustafsson (1983), Gislerud (1983) sekä myös Nisula (ks. Hakkila ja Kalaja 1981, s. 14). Lampinen (1978) on tarkastellut savukaasujen käyttömahdollisuutta hakkeen kuivatuksessa. Muita kuivatustapoja ovat tutkineet Koch (1983) sekä Alestalo (1982).

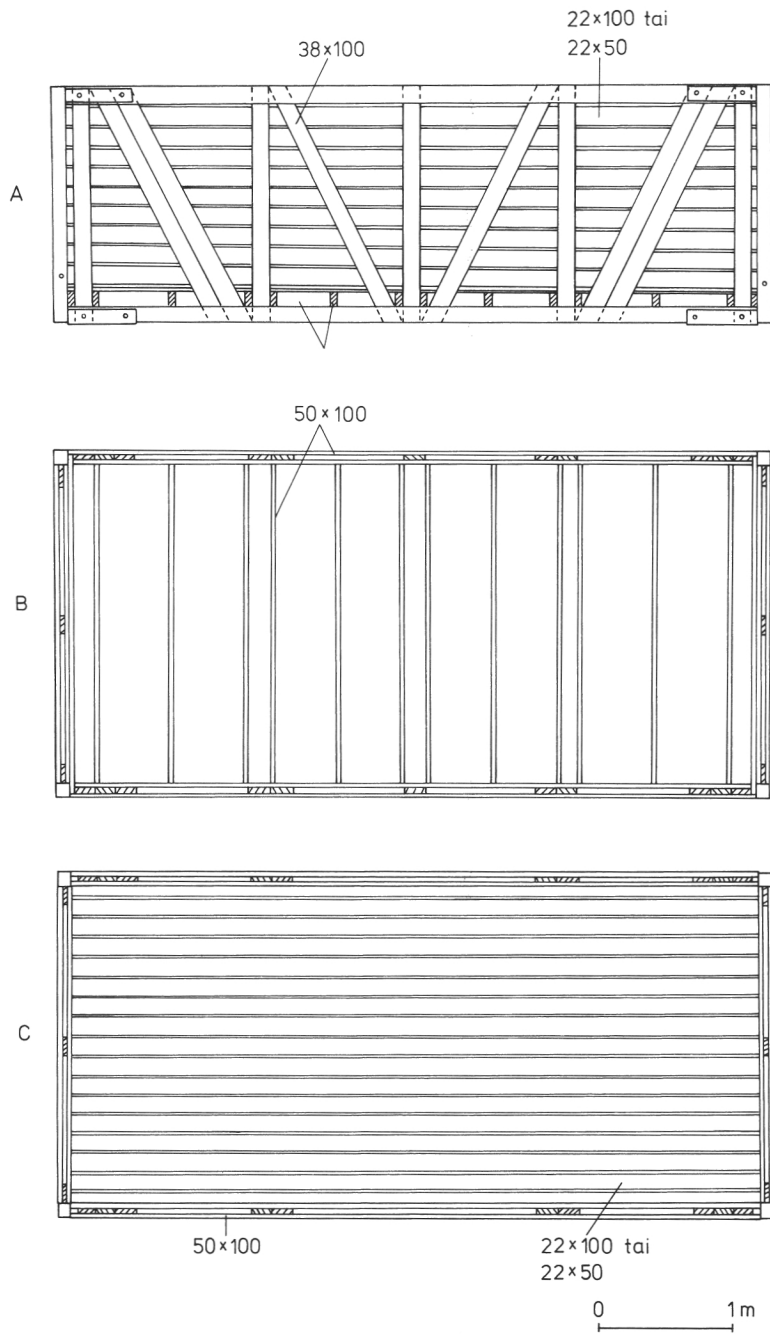
Vaikka hakkeen tai sen raaka-aineen kuivatus onkin yleinen ja tarpeellinen toimenpi-

de pienkäytössä, se on usein kannattamatonta suurkulutuksessa. Tämän vuoksi useat teollisuuden piirissä tehdyt tutkimukset ovatkin keskittyneet varastointiin liittyviin kysymyksiin. Tällaisia tutkimuksia ovat tehneet mm. Immonen (1961), Håkansson ja Numminen (1963), Annergren ym. (1964), Hajny (1966), Bergman ja Nilsson (1966, 1967, 1968, 1971, 1974, 1979), Gislerud ja Grønlien (1977, 1978 a,b) sekä Gislerud (1978). Pienkuluttajien hakevarastoja on tutkittu enemmälti vasta kuluvalle vuosikymmenellä. Tämä johtunee lisääntyneestä mielenkiinnosta hakkeen varastoinnin mahdollisia terveyshaittoja kohtaan (Gislerud 1974, Thörnqvist 1980, 1983, Björklund 1982, 1983, White ym. 1983). Erityisesti hakkeen varastointiin liittyviä homepölyn aiheuttamia haittoja ovat tutkineet Smith ja Ofosu-Asiedu (1972), Høeg (1980, 1981), Thörnqvist ja Lundström (1980), Turkkila ja Knut (1982), Pesonen (1982), Pellikka (1983), Pellikka ja Kotimaa (1983) ja Belin (1984).

Polttohakkeen suurkuluttajien kannalta on edullisinta puuaineen kosteuden vähentäminen ennen haketusta. Jo kauan käytössä ollut tapa kuivattaa kokonaisia puita rasissa tai kasoissa on edelleenkin tehokkain, ja siitä on olemassa lukuisia tutkimuksia (Jalava 1941, Heiskanen ja Hakkila 1960, Levanto 1961, Warsta 1961, Hakkila 1962, Simola ja Mäkelä 1976, Liss 1979, Faeste ja Johansson 1982, Uusvaara 1984). Puu kuivuu jonkin verran myös metsävarastoissa (Uusvaara 1984). Kärkkäinen (1981) on kehittänyt laskeutamenetelmän rasiinkaadon taloudellisuuden arvioimiseksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää puisen traktorikontin soveltuvuus polttohakkeen kuivatukseen. Tutkimuksessa ei ole pyritty optimoimaan kontin rakennetta ja käsiteltävyyttä. Keskeistä on sen sijaan ollut hakkeen kuivuminen ja siihen mahdollisesti vaikuttavat tekijät kuten palakoko, kuivatusaika, rasimenetelmä ja puulaji.

Tutkimuksen kenttätöiden järjestelyissä avustivat Hannu Kalaja ja Tapio Nevalainen. Puhtaaksikirjoituksesta vastasivat Aune Rytönen ja Maija Tuuri. Tulosten laskennasta ja grafiikasta vastasivat Hannu Aaltio ja Leena Muronranta. Käsikirjoituksen julkaisukuntoon saattamisessa avusti Raija Siekkinen. Englanninkielen tarkasti Elva Nurmi. Työn lukivat Pentti Hakkila, Olli Uusvaara ja Pertti Harstela. Kiitän kaikkia avusta.



Kuva 1. Hakekontin rakenne. A) Sivulta, B) päältä ilman pohjalautoitusta, C) päältä. Puutavaran mitat millimetreinä.
 Fig. 1. Structure of the chip bin. A) Side view, B) top view without board cover, C) top view. Dimensions in millimeters.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT

21. Traktorikonttien rakenne

Konttia suunniteltaessa on pidetty tärkeänä sen taloudellisuutta ja käyttökelpoisuutta. Taloudellisuutta on pyritty edistämään rakennusmateriaalien valinnalla sekä aurinkoon ja tuuleen perustuvalla kuivatuksella. Vaikka metallinen kontti olisikin kestävämpi, se on erittäin kallis ja käytännössä raskas käsitellä. Lisäksi puisen kontin kokoaminen on paljon helpompaa kuin metallisen. On myös oletettu sahatavaraa olevan tiloilla helposti saatavilla.

Kontti on mitoitettu traktorin perävaunun mittoja vastaavaksi. Tämä mahdollistaa kontin siirtelyn haketus-, kuivatus- ja varastointipaikkojen välillä. Näin vältetään turhilta hakkeen kuormauksilta ja tyhjennyksiltä. Kuivatuksen ajaksi kontti voidaan myös laskea traktorin perävaunusta suhteellisen helposti tukien varaan. Ulkoisilta mitoiltaan kontti täyttää maantiekuljetukselle asetetut vaatimukset silloin, kun kontin päällä käytettävä katos ei ole paikoillaan.

Kontti koostuu seinärakenteista sekä niitä sitovista lattialaudoituksista. Ensin kootaan 2 kappaletta sivuseinärakenteita 38x100 mm ja 50x100 mm puutavarasta (kuva 1a). Haluttaessa voidaan käyttää pelkästään kokoa 50x100 mm. Toisena vaiheena yhdistetään sivuseinät toisiinsa lattian koolauksilla (kuva 1b).

Ilman esteetön pääsy hakkeeseen on konttikuivatuksen kannalta olennaista. Siksi verhoilulautojen väliin jätettiin rakoja. Rakojen leveys vaihtelee konteissa sen mukaan, kuivataanko niissä hienohaketta vai palahaketta. Hienohakkeen nimellispituus oli 20 mm ja palahakkeen 50–70 mm. Hienohake valmistettiin hakureilla Junkkari HJ6 ja HJ10 sekä Hakki H-200. Palahakkeen valmistuksessa käytettiin Kopo PH-10 ja PH-15 -hakkureita.

Varisemisen estämiseksi on hienohakekonttiin jäävien rakojen oltava palahakekontin rakoja pienemmät. Saman ilmakosketuspinta-alan saamiseksi on hienoha-

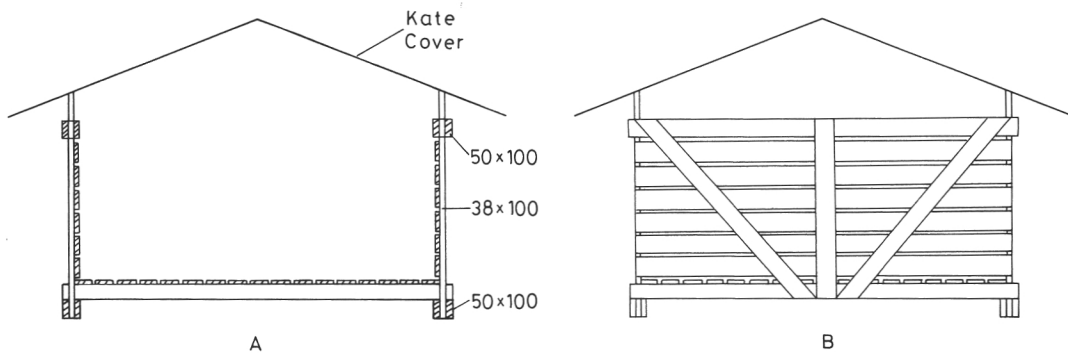
kekontti verhoiltava kapeammalla laudalla rakojen määrän lisäämiseksi. Hienohakekonteissa käytettiin 22x50 mm:n rimaa 10 mm:n raotuksella ja palahakekonteissa 22x100 mm:n lautaa 20 mm:n raotuksella (kuva 1c). Samanaikaisesti sivuseiniä ja pohjan verhoilun yhteydessä tehtiin kontin etuseinä tukineen (kuva 2).

Kontin perälevy on irrotettava. Tämä on välttämätöntä käytettiinpä kontin tyhjennykseen etukuormainta, kippausta tai lapiota. Perälevy kootaan samanlaiseksi rakenteeksi kuin sivuseinät ja verhoillaan tarvittavalla laudoituksella. Perälevy voidaan kiinnittää salpaamalla tai suoraan konttiin naulaamalla, mikä kuitenkin kuluttaa kontin puurakenteita. Suositeltavampi on kuvien 3a ja b esittämä kiinnitystapa, jossa perälevy roikkuu kontin sisäpuolelle sijoitetun tangon varassa. Lukitusluvat sijaitsevat kontin ulkopuolella alanurkissa. Mikäli tätä kiinnitystapaa käytetään, voidaan kontti kipata tyhjäksi ilman perälevyn irrottamista.

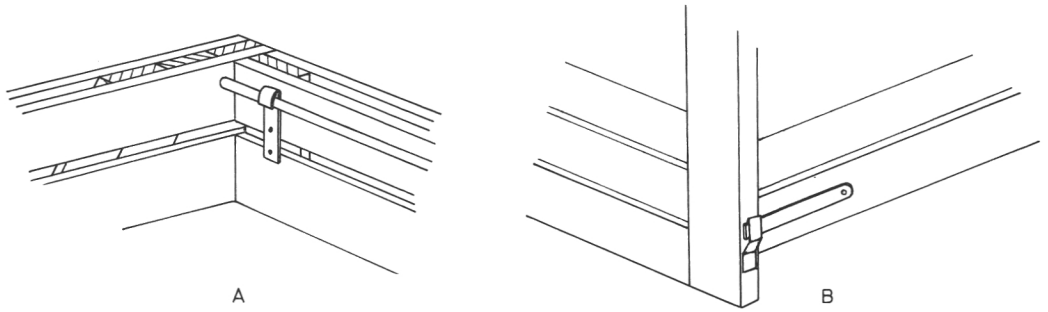
Paremmen ilmankierron ja suuremman ilmakosketuspinnan aikaansaamiseksi rakennettiin Ylihärmään vuonna 1982 kaksi kappaletta ns. verkkokonteja (kuva 4). Niissä seinien lautaverhoilu korvattiin 20x20 mm:n silmäkoon teräsverkolla. Lisäksi kummankin kontin keskelle rakennettiin 0,55 m³ tilava ilmanakana, joka kulkee pituussuunnassa koko kontin läpi lähes kontin korkuisena ja 10 cm:n levyisenä.

Konttien katokset rakennettiin v. 1981 kokeita varten 22x50 mm:n rimoista ja 0,15 mm:n paksuisesta muovista (kuva 5 alaosaa). Pyhtäällä tosin käytettiin kuvan 5 yläosan osoittamia Eura-peitekatoksia ilman räystäitä. Muovi ja rimat osoittautuivat kuitenkin kestävyydeltään erittäin huonoiksi materiaaleiksi. Sadeveden paino venytti muovia muodostamalla katoksen päälle vesivastoja. Veden paino puolestaan aiheutti kiinninaulattujen muovien repeilemisiä, jolloin hakkeen sekaan pääsi vettä. Tällaisen kiinteän katoksen nosto kontin päälle ja sen poistaminen oli erittäin vaikeata.

Katoksen mallia ja materiaaleja muutettiin vuoden



Kuva 2. A) Hakekontti takaa ilman perälautaa, B) edestä. Puutavaran mitat millimetreinä.
Fig. 2. A) Rear view of the bin without the rear gate, B) front view. Dimensions in millimeters.



Kuva 3. Perälaudan kiinnitys. A) Sisäpuoleinen ripustin ja B) ulkopuolinen salpa.
Fig. 3. Mounting of the rear gate. A) Inside support and B) outside latch.

1982 tutkimuksia varten. Katteena käytettiin tällöin Turo Oy:n valmistamaa 4x6 m:n kokoista pressua. Sen materiaalina on Vinyplan ja kudosaaineena polyamidilanka. Pressu on tulen ja pakkasen kestävä ja painaa 680 g/m². Konttiin naulattiin kurkihirsi ja räystäät, joiden varaan pressu levitettiin. Tämä katemalli kesti erittäin hyvin tuulen ja sateen ja oli helppo koota. Pressujen eduksi on myös laskettava se, että niitä voidaan käyttää kuivatuskauden ulkopuolella moniin muihin kattamistarkoituksiin.

Konttien korkeus, leveys ja pituus olivat keskimäärin 130x230x500 cm ja tilavuus noin 15 m³. Konttien mitat ja tilavuus vaihtelivat vain vähän paikkakunnasta ja rakentajasta riippuen.

Alla olevasta asetelmasta käy ilmi hieno-, pala- ja verkkokontteihin tarvittavien rakennusmateriaalien määrät ilman katoksia.

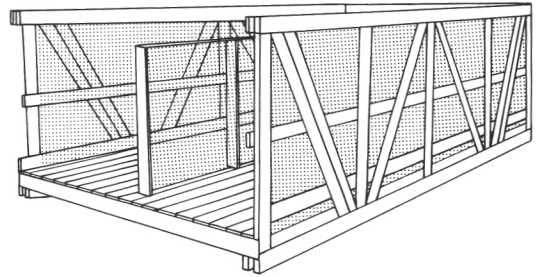
Tavaralaji	Koko, mm	Lautakontti		Verkkokontti	
		Hieno-hake	Pala-hake	Hieno-hake	Pala-hake
Sahatavara, m	22x50	520	—	180	—
—	22x100	—	260	—	90
—	38x100	60	60	60	60
—	50x100	90	90	90	90
Verkko, m ²	20x20	—	—	32	32

Kuivatustutkimus suoritettiin viidellä paikkakunnalla. Janakkalassa, Joroisissa ja Pyhtäällä kuivattiin leppähaketta, Hyrylässä ja Ylihärmässä koivuhaketta. Kullekin paikkakunnalle rakennettiin kuusi lautakonttia sekä Ylihärmään lisäksi kaksi verkkokonttia. Niissä kuivatettiin tutkimuksen aikana yhteensä 74 kontillista eli noin 1100 i-m³ haketta. Paikkakuntaohitteiset hakkeen määrät ja painot on lueteltu taulukoissa 1a ja b.

22. Kuivumisen ajankohdat ja kesto

Kuivatustutkimus suoritettiin vuosien 1981 ja 1982 aikana neljässä eri erässä (kuva 6). Kaksi hake-eristä oli kaatotuoreetta ja kaksi rasikuivattua. Kaatotuoreella hakkeella tarkoitetaan puun kaadosta kahden vuorokauden kuluessa tehtyä haketta. Rasikuiva hake tehtiin noin kuukauden rasissa kuivuneesta puusta.

Ensimmäinen erä tehtiin keväällä kaatotuoreesta lehdettömästä puusta. Vuonna 1981 tämän erän hakkeet tehtiin toukokuussa ja vuonna 1982 ne tehtiin maaliskuuhun vaihteessa. Täten ei eri tutkimusvuosien ke-



Kuva 4. Verkkokontti.
Fig. 4. A wire mesh bin.

vään kaatotuoreiden hakkeiden kuivumista voida pitää täysin vertailukelpoisina. Keväällä kaatotuoreena valmistetun hakkeen kuivatus loppui syyskuun alussa. Vuonna 1981 keskimääräinen kuivatusaika oli 16 viikkoa, ja vuonna 1982 se oli 22 viikkoa.

Tutkimuksen *toinen erä* koostui kesä-heinäkuun vaihteessa kaatotuoreista lehdehdyneistä puista tehdyistä hakkeista. Tutkimuksen ajoittuminen oli molempina vuosina sama, mikä mahdollistaa niiden keskinäisen vertailun. Kuivatusta tosin jatkettiin vuonna 1981 aina talveen asti. Vuosina 1981 ja 1982 keskimääräiset kuivatusajat olivat 25 viikkoa ja 20 viikkoa.

Kolmas erä tehtiin rasikuivasta puusta samaan aikaan kesän kaatotuoreen erän kanssa, joten suora vertailu kaatotuoreen puun kuivumisen kanssa on mahdollista. Vuoden 1981 rasikuivatus kesti 5—11 viikkoa, keskimääräisen ajan oltua 7 viikkoa. Toisena tutkimusvuotena rasikuivatus kesti kaikilla paikkakunnilla 5 viikkoa.

Neljäs erä hakettiin syyskuussa rasikuivista puista, jotka kaadettiin rasiin elo-syyskuussa vuonna 1981 ja elokuussa vuonna 1982. Rasiajan ajoittumisessa ja pituudessa oli suuria vaihteluita vuonna 1981. Rasiajan pituus oli vuonna 1981 keskimäärin 4 viikkoa ja vuonna 1982 se oli 5 viikkoa.

Kuva 5. Kuivatuskoe käynnissä Pyhtäällä (yllä) ja Hyrylässä (alla).
Fig. 5. Drying experiment taking place in Pyhtää (above) and Hyrylä (below).



Taulukko 1a. Hakkeen paino- ja tilavuustietoja vuonna 1981.
Table 1a. Weight and volume data on chips and chunks in 1981.

Hake Chips/ chunks	Tekoaika Season	Paikkakunta Location	Kokonaispaino, kg Total weight, kg		Hakkeen tilavuus, m ³ Volume, m ³	Paino, kg/i-m ² Weight, kg/m ² loose	
			Lähtö Start	Loppu End		Lähtö Start	Loppu End
Tuore hienohake Fresh chips	Kevät Spring	Janakkala	5280	3120	13,4	394	233
		Joroinen	4620	3172	14,9	310	213
		Hyrylä	4960	2840	14,5	342	196
		Ylihärmä	3960	3117	14,2	279	219
Tuore palahake Fresh chunks	Kevät Spring	Janakkala	4980	2860	14,4	346	199
		Joroinen	4200	2831	14,6	288	194
		Hyrylä	4320	2794	14,6	296	191
		Ylihärmä	3600	2746	14,2	254	193
Tuore hienohake Fresh chips	Kesä Summer	Janakkala	4220	2987	14,4	293	207
		Joroinen	3090	2375	10,3	300	231
		Hyrylä	4780	3245	14,4	332	225
		Ylihärmä	4420	3237	14,2	311	228
		Pyhtää	4690	3142	14,5	324	217
Tuore palahake Fresh chunks	Kesä Summer	Janakkala	3800	2683	12,9	295	208
		Joroinen	2700	1879	9,7	278	194
		Hyrylä	4320	2872	14,4	300	199
		Ylihärmä	3590	2457	14,2	253	173
		Pyhtää	4690	3065	14,5	329	211
Rasikuiva hienohake Seasoned chips	Kesä Summer	Janakkala	3820	2906	15,5	246	187
		Joroinen	2870	2296	11,8	243	195
		Hyrylä	4380	3204	14,4	304	223
		Ylihärmä	3710	3251	14,2	261	229
		Pyhtää	4470	3454	14,5	308	238
Rasikuiva palahake Seasoned chunks	Kesä Summer	Janakkala	3580	2703	15,4	232	176
		Joroinen	2450	1999	9,5	258	210
		Hyrylä	3860	3216	14,7	263	219
		Ylihärmä	3900	3032	14,2	275	214
		Pyhtää	4270	3107	14,5	294	214
Rasikuiva hienohake Seasoned chips	Syksy Autumn	Janakkala	3860	3380	13,4	288	252
		Joroinen	3713	3438	14,6	254	235
		Hyrylä	2635	2492	8,6	306	290
		Ylihärmä	4009	3596	14,2	282	253
Rasikuiva palahake Seasoned chunks	Syksy Autumn	Janakkala	3500	2918	13,7	255	213
		Joroinen	3619	3157	14,9	243	212
		Hyrylä	2373	2322	8,9	267	261
		Ylihärmä	3744	3416	13,9	269	246

23. Kuivumisen seuranta

Tutkimuksen tavoitteen saavuttamiseksi oli välttämätöntä saada tietoja hakkeen kosteuden kehittymisestä tutkimusaikana. Kosteuden muutoksia ei voida seurata näytteitä ottamalla, sillä hakkeen kosteus vaihtelee epätasaisesti. Kosteuden kehitystä voidaan kuitenkin seurata hakemassan määräaikaisilla punnituksilla, mikäli hakkeen kosteus ja kuiva-aineen määrä on määritetty kokeen alussa. Menetelmä ei ota kuitenkaan huomioon kuivatuksen aikana tapahtuvia kuiva-ainetappioita, joten se liioittelee kuivumistuloksia. Virhettä voidaan kuitenkin korjata kokeen lopussa otettavien näytteiden perusteella.

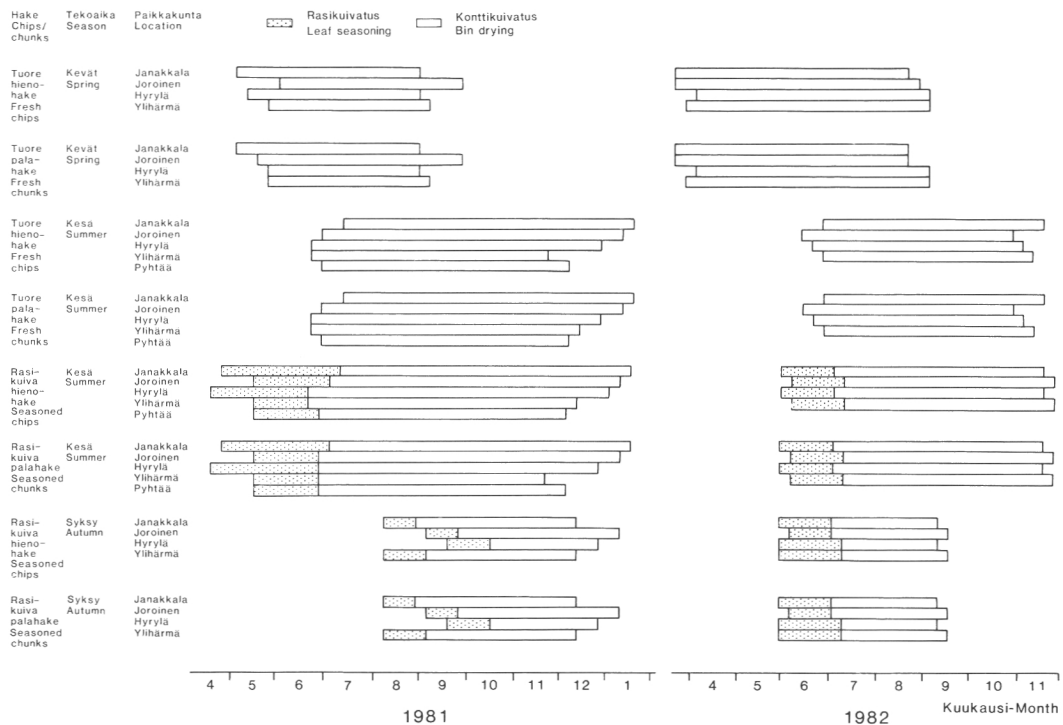
Painomittauksen suorittamiseksi turvallisesti ja vähällä työvoimalla tilattiin Koatram Oy:ltä siirrettävä punnitusjärjestelmä. Järjestelmään kuuluu 3 kappaletta 2 tonnin tunkkiantureita, mittauslähetin sekä vaaka, joka sisältää elektroniikka- ja näyttöosast (kuva 7). Virralähteenä käytettiin auton akkua. Laitteiden toimituk-

sen viivästyttyä käytettiin tutkimuksen alkuvaiheessa vuonna 1981 hakkeiden punnitsemiseen autovaakoja.

Konttien punnitseminen tunkkiantureilla vaati joitakin normaalikuivatukselta poikkeavia menettelytapoja. Sen sijaan, että kontit olisi jätetty korkealle ilmaan tukien varaan kuivumaan, ne täytyi laskea noin 40 cm:n korkeudelle maasta. Tältä korkeudelta tunkkien ulottuvuus oli vielä riittävä nostamaan kontin punnituksessa ilmaan. Kontteja punnitessa yksi tunkki sijoitettiin koolauksien alle kontin etuosaan ja kaksi muuta taakse sivuille. Tunkkien sijoittelua seurasi laitteen taaraus, kontin nosto ja painon luku näyttöosasta. Kontin paino katoksineen oli määritetty aina ennen kontin täyttöä hakkeella. Vähentämällä laitteen osoittamasta lukemasta kontin ja katoksen paino saatiin hakkeen paino. Kontin ja katoksen painot määriteltiin myös kokeen lopussa, jotta niiden painonmuutokset eivät aiheuttaisi virheitä lopputuloksissa. Kaikki kontit pyrittiin punnitsemaan viikoittain. Painon muutosten hidastuttua punnitusväli pidennettiin kahteen tai useampaan viikkoon.

Taulukko 1b. Hakkeen paino- ja tilavuustietoja vuonna 1982.
Table 1a. Weight and volume data on chips and chunks in 1982.

Hake Chips/ chunks	Tekoaika Season	Paikkakunta Location	Kokonaispaino, kg Total weight, kg		Hakkeen tilavuus, m ³ Volume, m ³	Paino, kg/i-m ² Weight, kg/m ² loose	
			Lähti Start	Loppu End		Lähti Start	Loppu End
Tuore hienohake <i>Fresh chips</i>	Kevät <i>Spring</i>	Janakkala	4583	2533	13,5	339	188
		Joroinen	4662	2983	14,7	317	203
		Hyrylä	4890	2997	13,3	368	225
		Ylihärmä	4678	2848	14,3	327	200
Tuore hienohake verkkokontissa <i>Fresh chips in a wire mesh bin</i>	Kevät <i>Spring</i>	Ylihärmä	4074	2519	13,7	297	184
Tuore palahake <i>Fresh chunks</i>	Kevät <i>Spring</i>	Janakkala	4660	2714	14,6	319	186
		Joroinen	4905	2945	14,6	336	202
		Hyrylä	3953	2242	11,0	350	204
		Ylihärmä	4233	2647	14,3	296	185
Tuore palahake verkkokontissa <i>Fresh chunks in a wire mesh bin</i>	Kevät <i>Spring</i>	Ylihärmä	4639	2873	13,7	339	210
Tuore hienohake <i>Fresh chips</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	4688	3159	14,1	332	224
		Joroinen	4709	3028	14,1	334	215
		Hyrylä	4379	2952	14,6	300	202
		Ylihärmä	4327	3224	14,3	303	226
Tuore palahake <i>Fresh chunks</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	4468	2914	14,4	310	202
		Joroinen	4610	2897	14,2	325	204
		Hyrylä	4074	2679	14,3	285	187
		Ylihärmä	4093	2983	13,8	297	216
Rasikuiva hienohake <i>Seasoned chips</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	3518	2474	14,1	250	175
		Joroinen	3805	2946	14,5	262	203
		Hyrylä	3827	3090	14,1	271	219
		Ylihärmä	3476	2940	14,9	233	197
Rasikuiva palahake <i>Seasoned chunks</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	3446	2364	13,6	253	174
		Joroinen	3212	2529	14,6	220	173
		Hyrylä	3395	2862	14,2	239	202
		Ylihärmä	3190	2730	13,1	244	208
Rasikuiva hienohake <i>Seasoned chips</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Janakkala	4145	3561	15,2	273	234
		Joroinen	4153	3541	14,7	283	241
		Hyrylä	3759	3239	14,8	254	219
		Ylihärmä	4089	3739	14,3	285	261
Rasikuiva hienohake verkkokontissa <i>Seasoned chips in a wire mesh bin</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Ylihärmä	3958	3518	13,7	289	257
Rasikuiva palahake <i>Seasoned chunks</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Janakkala	3665	3057	13,9	264	220
		Joroinen	4112	3322	14,6	282	228
		Hyrylä	3268	2690	14,0	233	192
		Ylihärmä	3146	2848	13,1	240	217
Rasikuiva palahake verkkokontissa <i>Seasoned chunks in a wire mesh bin</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Ylihärmä	2970	2690	13,7	217	196



Kuva 6. Hakkeen ja rasipuiden kuivatuksen ajoittuminen eri paikkakunnilla 1981 ja 1982.
 Fig. 6. Timing of drying and leaf seasoning in different localities in 1981 and 1982.

24. Näytteiden otto ja käsittely

Haketuksen yhteydessä otettiin kustakin kontillisesta näytteet hakkeen kosteuden, palakokojakauman ja homeitiöiden määrän määrittämiseksi. Konttien tyhjentämisen yhteydessä kerättiin uudelleen kosteus- ja homepölynäytteet. Hakkeesta otettiin vuonna 1982 homepölynäytteet myös kuivatusajan puolivälissä. Homepölyä koskevat tulokset on julkaistu aikaisemmin (Pellikka 1983, Pellikka ja Kotimaa 1983).

Hakkeen alkukosteus määritettiin hyvin sekoitetusta, vasta haketetusta materiaalista. Jokaisesta kontista määritettiin yksi 1–2 litran näyte, joka kuljetettiin kaksinkertaisessa muovipussissa laboratorioon käsiteltäväksi. Näytteistä otettiin tuorepaino saapumispäivän aikana. Mikäli uunikuivatusta ei voitu suorittaa heti, varastoitettiin näytteet kylmäkaapissa. Kuivapainon määrittämiseksi näytteitä kuivattiin kaksi vuorokautta 102°C:n lämmössä.

Punnitusmenetelmän aiheuttamat virheet kosteus- ja kuiva-ainemäärissä pyrittiin korjaamaan konttien tyhjentämisen yhteydessä otetuilla näytteillä. Varastoidun hakkeen keskimääräisen kosteuden määrittäminen on kuitenkin vaikeata, sillä kosteus kerrotaan vyöhykkeiksi hakkeen sisällä.

Vuonna 1981 käytettiin näytteiden otannassa useita eri menetelmiä. On vaikeata arvioida kuinka erityyppiset otannat vaikuttavat laskettuihin keskiarvoihin. Näytteiden pieniä keskihajontoja voitaneen kuitenkin pitää osoituksena otannan onnistumisesta. Kustakin kontista otettiin 4–15 näytettä. Joissain tapauksissa otettiin sekoitettu näyte kontin poikkileikkauksinnalta

metrin välein. Toisissa tapauksissa taas otettiin erilliset näytteet kontin pinta-, keski- ja pohjaväyhykkeistä. Taulukosta 2a ilmenevät myös kustakin kontista otettujen keräilynäytteiden lukumäärä, lasketut keskiarvot sekä painon perusteella lasketut loppukosteudet.

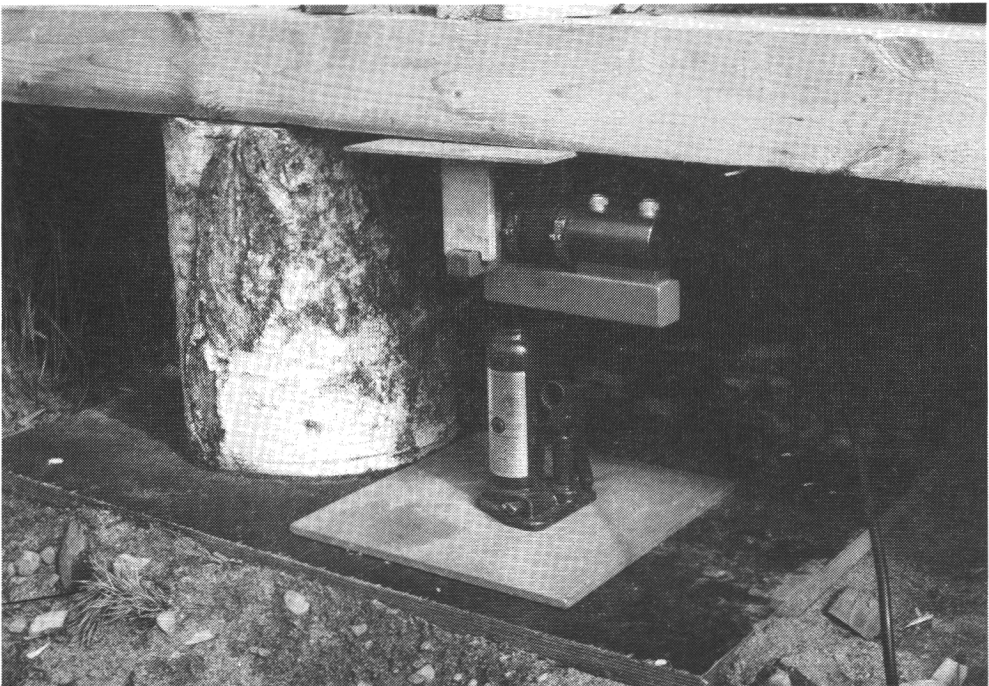
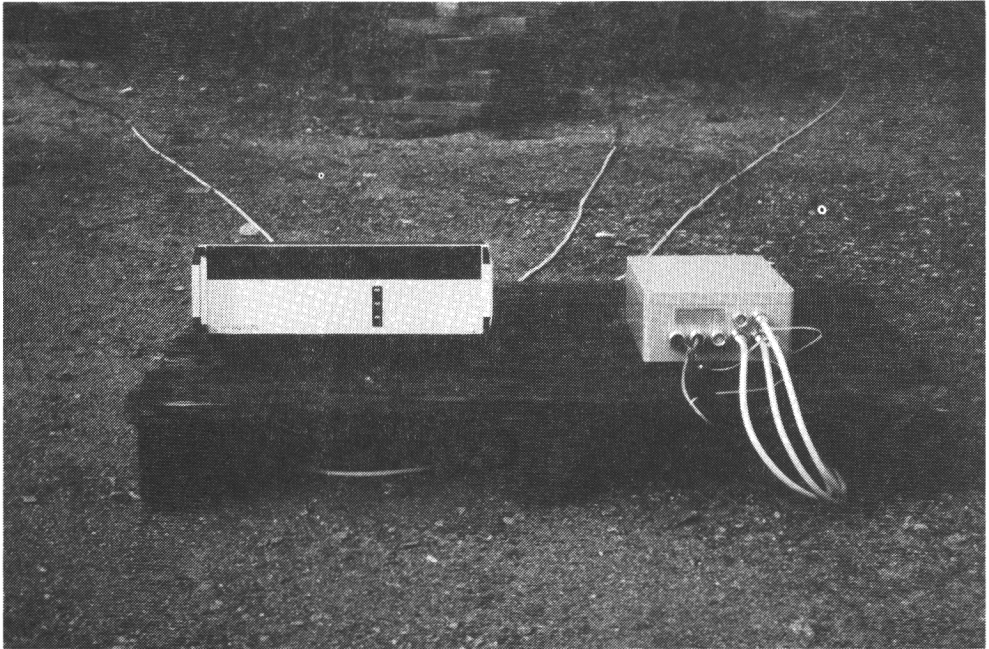
Vuonna 1982 käytettiin kaikkien konttien tyhjentämisessä samaa näytteiden otantamenetelmää. Kutakin kontin pituuden täyttä metriä kohti kerättiin 50–100 litraa haketta, josta otettiin kosteusnäyte sekoituksen jälkeen. Näin saatiin jokaisesta kontista viisi keräilynäytettä. Alku- ja loppukosteudet ilmenevät taulukosta 2b.

Jokaisesta kontista otettiin haketuksen yhteydessä seulontanäytteitä, joiden suuruus oli noin 10 litraa. Seulontatulokset osoittavat selvästi hieno- ja palahakkeen kokojakauman erot (kuva 8).

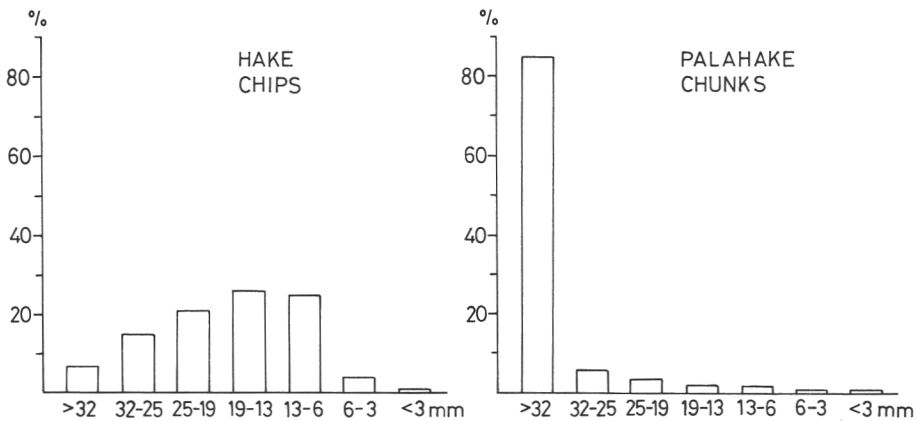
25. Ilmastolliset tilastot

Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden mittauksilla saatiin taustatietoa kuivatusoloista ja sään vaihteluista paikkakuntien ja koevuosien välillä. Kuivumisen riippuvuutta säästä ei kuitenkaan ole selvitetty tässä yhteydessä.

Kaikki oheisena esitetyt vuosien 1981 ja 1982 tilastot on saatu Ilmatieteen laitokselta. Tässä esiintyvät suuret lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, tuulen nopeus ja kyllästysvoima on määritelty Tilastoja Suomen ilmastosta 1961–1980 -julkaisussa (Heino ja Hellsten 1983). Aineisto on koottu taulukkoon 3 sekä liitteisiin 1



Kuva 7. Yläkuvassa vaaka ja mittauslähetin. Alakuvassa tunkki antureineen.
Fig. 7. Electronic scale and amplifier above. The jack and load cell below.



Kuva 8. Hakkeen ja palahakkeen pituusjakaumat.
Fig. 8. Particle length distribution of chips and chunks.

Taulukko 2a. Hakkeen ja palahakkeen kosteudet vuonna 1981.
Table 2a. Moisture contents of chips and chunks in 1981.

Hake Chips/ chunks	Tekoaika Season	Paikkakunta Location	Lähtökosteus, % Starting m.c., %	Punnittu Weight scale	Loppukosteus — Final m.c., %		
					\bar{x}	Näytteet Samples s	n
Tuore hienohake Fresh chips	Kevät Spring	Janakkala	55,4	24,6	37,2	—	—
		Joroinen	50,0	27,2	30,8	1,6	6
		Hyrylä	54,0	19,5	29,8	1,6	4
		Ylihärmä	39,6	23,3	18,2	0,3	10
Tuore palahake Fresh chunks	Kevät Spring	Janakkala	56,2	23,7	28,0	—	—
		Joroinen	50,7	26,8	29,9	5,6	6
		Hyrylä	41,9	11,8	20,0	1,9	4
		Ylihärmä	39,9	21,2	14,4	0,3	6
Tuore hienohake Fresh chips	Kesä Summer	Janakkala	55,4	37,0	—	—	—
		Joroinen	48,8	33,6	37,3	3,0	7
		Hyrylä	47,9	23,1	31,9	4,9	15
		Ylihärmä	43,7	24,6	27,9	5,5	15
		Pyhtää	50,3	25,8	38,3	2,3	9
Tuore palahake Fresh chunks	Kesä Summer	Janakkala	57,8	40,4	—	—	—
		Joroinen	51,3	29,9	30,0	3,6	15
		Hyrylä	50,7	25,6	26,5	3,3	15
		Ylihärmä	40,7	16,2	23,5	2,6	15
		Pyhtää	54,3	29,9	35,1	4,9	7
Rasikuiva hienohake Seasoned chips	Kesä Summer	Janakkala	45,3	28,2	—	—	—
		Joroinen	41,0	26,5	26,7	3,3	11
		Hyrylä	48,6	29,7	32,4	7,9	15
		Ylihärmä	32,6	22,5	21,9	1,5	15
		Pyhtää	47,7	32,4	37,0	1,2	10
Rasikuiva palahake Seasoned chunks	Kesä Summer	Janakkala	44,0	26,1	—	—	—
		Joroinen	42,9	29,9	—	—	—
		Hyrylä	39,5	27,4	25,8	3,7	15
		Ylihärmä	33,6	14,6	20,1	1,3	15
		Pyhtää	45,4	24,8	27,8	3,5	10
Rasikuiva hienohake Seasoned chips	Syksy Autumn	Janakkala	50,3	43,3	41,7	3,3	15
		Joroinen	40,8	37,1	—	—	—
		Hyrylä	47,9	44,8	43,2	9,4	12
		Ylihärmä	40,1	33,2	32,2	3,8	15
Rasikuiva palahake Seasoned chunks	Syksy Autumn	Janakkala	47,5	36,8	39,6	3,8	15
		Joroinen	44,0	37,0	—	—	—
		Hyrylä	41,0	39,7	36,8	5,6	12
		Ylihärmä	37,0	30,1	29,5	1,8	15

Taulukko 2b. Hakkeen ja palahakkeen kosteudet vuonna 1982.
 Table 2b. The moisture contents of chips and chunks in 1982.

Hake Chips/ chunks	Tekoaika Season	Paikkakunta Location	Lähtökosteus, % Starting m.c., %	Punnittu Weight scale	Loppukosteus — Final m.c. %		
					\bar{x}	Näytteet Samples s	n
Tuore hienohake <i>Fresh chips</i>	Kevät <i>Spring</i>	Janakkala	54,3	15,3	26,8	2,9	5
		Joroinen	50,6	22,0	27,4	1,8	5
		Hyrylä	50,9	19,6	27,6	8,8	5
		Ylihärmä	45,9	11,5	17,3	1,9	5
Tuore hienohake verkkokontissa <i>Fresh chips in a wire mesh bin</i>	Kevät <i>Spring</i>	Ylihärmä	45,6	14,3	15,6	3,5	5
Tuore hienohake <i>Fresh chips</i>	Kevät <i>Spring</i>	Janakkala	53,1	18,5	24,5	9,2	5
		Joroinen	48,3	13,0	23,4	3,2	5
		Hyrylä	51,5	16,7	16,7	2,8	5
		Ylihärmä	45,0	12,8	16,5	4,3	5
Tuore palahake verkkokontissa <i>Fresh chunks in a wire mesh bin</i>	Kevät <i>Spring</i>	Ylihärmä	47,6	16,0	18,8	1,3	5
Tuore hienohake <i>Fresh chips</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	53,8	32,9	35,0	7,9	5
		Joroinen	52,7	26,9	—	—	0
		Hyrylä	45,9	19,8	27,7	1,9	5
		Ylihärmä	43,9	25,8	26,3	2,4	5
Tuore palahake <i>Fresh chunks</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	50,9	26,6	31,8	2,8	5
		Joroinen	52,4	24,8	—	—	0
		Hyrylä	49,3	22,5	24,2	3,4	5
		Ylihärmä	39,8	18,6	22,8	2,0	5
Rasikuiva hienohake <i>Seasoned chips</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	44,5	22,3	26,5	2,2	5
		Joroinen	44,0	28,3	27,4	3,0	5
		Hyrylä	33,4	20,6	24,6	3,0	5
		Ylihärmä	32,9	24,3	21,5	1,7	5
Rasikuiva palahake <i>Seasoned chunks</i>	Kesä <i>Summer</i>	Janakkala	50,2	28,4	25,8	2,2	5
		Joroinen	41,2	25,4	20,3	0,5	5
		Hyrylä	31,9	21,3	20,1	0,8	5
		Ylihärmä	31,2	22,9	19,8	1,4	5
Rasikuiva hienohake <i>Seasoned chips</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Janakkala	49,5	42,3	42,8	2,8	5
		Joroinen	49,0	41,5	38,8	1,2	5
		Hyrylä	36,2	27,4	33,0	2,5	4
		Ylihärmä	33,0	28,2	30,1	2,4	5
Rasikuiva hienohake verkkokontissa <i>Seasoned chips in a wire mesh bin</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Ylihärmä	33,0	27,6	27,4	5,8	5
Rasikuiva palahake <i>Seasoned chunks</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Janakkala	48,6	38,7	37,4	8,3	5
		Joroinen	46,3	35,2	34,7	1,8	5
		Hyrylä	35,2	23,4	26,4	1,7	5
		Ylihärmä	34,3	27,5	28,0	1,3	5
Rasikuiva palahake verkkokontissa <i>Seasoned chunks in a wire mesh bin</i>	Syksy <i>Autumn</i>	Ylihärmä	34,3	29,3	27,8	3,5	5

Taulukko 3. Ilmastollisia tilastoja vuosilta 1981 ja 1982 (°C = ilman lämpötila, m/s = tuulen nopeus ja % = ilman suhteellinen kosteus).

Table 3. Weather data in 1981 and 1982 (°C = air temperature, m/s = wind speed and % = relative humidity).

Kuukausi Month	Muuttuja Variable	1981					1982				
		Hattula	Sääasema — Varkaus	Weather station Kauhava	Ruotsin- pyhtää	Hyrylä	Hattula	Sääasema — Varkaus	Weather station Kauhava	Hyrylä	
Huhtikuu April	°C	1,3	0,2	0,5	1,4	1,8	2,6	1,6	1,1	2,9	
	m/s	..	..	4,0	3,3	3,9	3,5	..	3,4	4,1
	%	73	68	72	73	70	75	69	76	77	
Toukokuu May	°C	11,8	10,2	10,4	10,2	11,4	9,1	8,1	7,6	9,7	
	m/s	..	..	3,3	3,0	2,9	4,3	..	3,9	4,5
	%	65	63	65	68	62	71	66	72	68	
Kesäkuu June	°C	13,4	13,0	12,1	12,7	13,5	11,8	10,2	10,2	12,0	
	m/s	..	..	4,1	4,5	3,3	3,4	..	3,3	3,6
	%	79	78	77	80	76	66	63	61	66	
Heinäkuu July	°C	16,8	17,2	16,2	16,8	17,1	17,0	16,5	15,6	17,5	
	m/s	..	..	3,2	3,8	3,4	2,5	..	2,9	3,0
	%	79	74	80	77	74	65	62	66	64	
Elokuu August	°C	13,8	13,1	12,2	14,3	14,2	15,7	14,2	14,0	16,0	
	m/s	..	..	3,0	3,5	3,1	2,6	..	3,2	2,9
	%	83	82	86	82	74	74	76	76	76	
Syyskuu September	°C	9,9	8,6	8,4	10,5	10,4	9,9	7,8	8,5	10,5	
	m/s	..	..	2,6	2,9	2,2	3,2	..	3,4	2,4
	%	86	85	89	84	86	81	83	83	82	
Lokakuu October	°C	5,8	5,0	4,2	6,7	6,3	3,9	2,1	2,8	4,8	
	m/s	..	..	3,5	4,3	2,8	2,5	..	3,1	2,4
	%	91	90	93	86	90	88	87	88	85	
Marraskuu November	°C	-0,4	-1,7	-1,7	0,3	-0,1	3,0	1,4	1,5	3,7	
	m/s	..	..	4,0	3,0	3,3	4,9	..	4,0	4,7
	%	92	92	93	88	91	88	90	92	87	
Joulukuu December	°C	-7,5	-9,2	-10,7	-5,5	-6,7	-1,2	-3,4	-2,7	0,3	
	m/s	..	..	3,9	2,3	2,3	3,6	..	4,0	3,6
	%	90	86	89	86	89	89	90	91	90	

ja 2. Koepaikkoja lähinnä olleet sääasemat olivat seuraavat:

Koepaikkakunta	Sääasema
Janakkala	Leteensuo, Hattula
Joroinen	Kuoppakangas, Varkaus
Hyrylä	Anttilan koetila, Hyrylä
Ylihärmä	Lentokenkä, Kauhava
Pyhtää	Ruotsinpyhtää

26. Kuiva-ainetappiot ja tehollinen lämpöarvo

Haketta varastoitaessa mikrobien toiminta aktivoituu. Mikäli ympäristöolot — lämpötila, kosteus, ravinto — ovat epäsuotuisat, on organismien hajotustoiminta hyvin hidasta tai sitä ei esiinny lainkaan. Aineen lämpötilan kohoaminen ja kuiva-aineen väheneminen ovat todisteita päinvastaisesta tilasta. Tämä on usein havaittavissa haketta kuivattaessa ja varastoitaessa (Aittomäki, 1963, Håkansson ja Numminen 1963, Bergman ja Nilsson 1967, 1979, Mihajlov 1971, Gislerrud 1974, Gislerrud ja Grønlien 1977 ja 1978a, b, Thörnqvist 1980, 1982, 1983).

Kuiva-ainetappioiden suuruus on laskettu tutkimuksen alussa ja lopussa määritettyjen kuiva-ainemäärien erotuksina. Koska laskenta perustuu kosteusnäytteistä

saatuihin tuloksiin, haittaa otantaan liittyvä vaihtelu kuiva-ainetappioiden määrittästä. Mittausmenetelmä voi jopa osoittaa kuiva-aineen lisääntyneen, minkä on katsottava johtuvan otannassa syntyneestä virheestä.

Tehollisten lämpöarvojen (MJ/i-m³) laskemiseksi käytettiin Valtion polttoainokeskuksen kaupallisessa toiminnassa käyttämää yhtälöä koivu- ja leppäkoko-puulle (Haapasalo, 1983). Käytetty yhtälö on muotoa $W_{\text{eff}} = 19.246 - 0.217 K$, missä K on hakkeen kosteus prosentteina tuorepainosta. Lämpöarvon muutos on ilmaistu prosentteina kokeen alussa saadusta lämpöarvosta. Hakkeen kuivuminen lisää ja kuiva-ainetappio vähentää tehollista lämpöarvoa. Muutoksen suunta riippuu näiden tekijöiden suhteesta.

27. Tilastollinen tarkastelu

Tuloksia tarkastellaan edellä mainittujen menetelmien lisäksi kuivumista kuvaavilla regressioyhtälöillä. Parhaan selityksen saaneille hake-erille antoi yhtälö $y_i = a + bx_i + c \ln(x_i)$, joten sen käyttöön päädyttiin kaikissa hake-erissä.

Selittävänä muuttujana (x_i) käytettiin kuivatusviikkojen määrää. Selitettäviä muuttujia (y_i) oli kolme: hakkeen kosteus prosentteina tuorepainosta (%), kosteuden väheneminen ja hakkeen irtokuutiometrin paino (kg/i-m³). Kosteuden vähenemisen laskemiseksi on kunkin

hake-erän lähtökosteudelle (%) annettu arvo 100, ja kaikki sitä seuraavat arvot on laskettu prosentteina lähtöarvoista. Näin on pyritty poistamaan paikkakuntien väliset lähtökosteuksien erot. Menettelyllä päästään parempiin selitystasteisiin varsinkin niiden hake-erien kohdalla, joissa lähtökosteuksien hajonta on suuri. Kosteuden vähenemistä osoittavan regressioyhtälön etuna on vielä se, että sitä voidaan käyttää joustavammin hakkeen kosteuden arvioimiseen kuin normaalia tuorepainoon perustuvaa kosteutta, koska lähtökosteusarvo ei tässä tapauksessa ole kiinteä.

Logaritmiselle yhtälölle saadaan määrittelemätön arvo selittävän muuttujan arvolla 0 viikkoa. Tämän

vuoksi on yhtälöitä laskettaessa oletettu ensimmäisen punnituksen tapahtuneen kuivatuspäivänä 1. Tämä menettely ei kuitenkaan aiheuta suurta virhettä, sillä punnituslaitteiston siirtely paikkakunnalta toiselle siirsi punnituksen joissakin tapauksissa haketusta seuraavaksi päiväksi.

Hakkeen kosteuden (%) osoittavat regressioyhtälöt löytyvät kuvien 9—27 yhteydestä sekä taulukosta 7. Kosteuden vähenemisen yhtälöt löytyvät samoin taulukosta 7. Hakkeen painon kuvaajat ja yhtälöt on koottu liitteisiin 3—7.

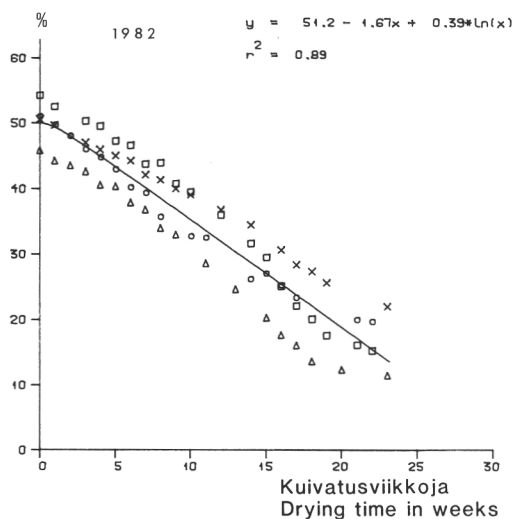
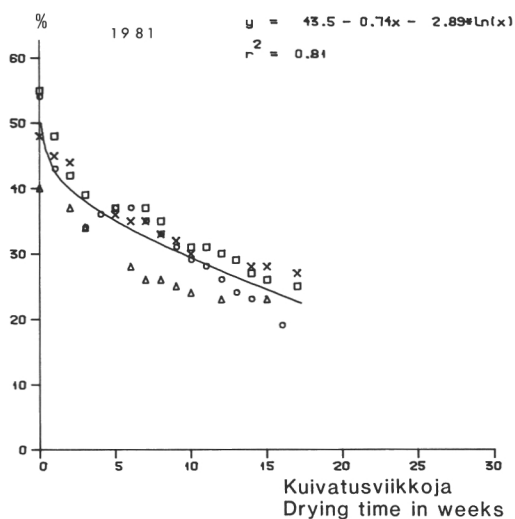
3. KUIVATUSKOKEEN TULOKSET HAKE-ERITTÄIN

31. Kevään kaatotuore hienohake

Kuivatuskokeen ensimmäiset hake-erät tehtiin jo keväällä ennen lehtien puhkeamista. Ensimmäisenä vuonna puut kaadettiin toukokuussa mutta toisena jo huhtikuussa. Sää oli suotuisampi vuonna 1981, koska kuivatus alkoi keskimäärin 8 viikkoa myöhemmin kuin vuonna 1982 (taulukko 3). Seuraava asetelma on tiivistelmä ensimmäisten kuivatuskuukausien säästä. Lukemat ovat sääasemilta saatuja keskiarvoja.

	Lämpötila °C	Tuuli m/s	Kosteus %	Kyllästys- vajaumus mb
1981 Toukokuu	10,8	3,1	65	7,1
1982 Huhtikuu	2,0	3,7	73	2,4

Huolimatta kuivatuksen alkamisesta eri aikoina olivat lähtökosteudet samat: 49,8 % (1981) ja 49,5 % (1982). Kuivuminen edistyi eri vuosina kuitenkin eri tavoin (kuva 9). Vuoden 1981 kosteuksia esittävä kuvaaja on selvästi muodoltaan logaritminen, kun taas vuonna 1982 kuivuminen on lähes lineaarista (kuva 9).



Kuva 9. Kevään kaatotuoreen hienohakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.

Fig. 9. Moisture content of chips made from fresh material in spring as a function of time in 1981 and 1982.

Taulukko 4. Hakkeiden loppukosteudet (%) vuosina 1981 ja 1982.
 Table 4. The final moisture contents of chips and chunks in 1981 and 1982.

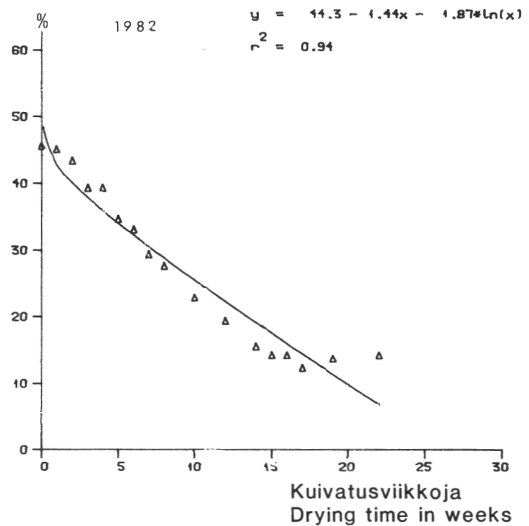
Tekoaika ja hake Season and particle size	Kontin tyyppi Bin type	1981 %	1982 %
Kevään kaatotuore hienohake Spring chips from fresh trees	Puu — Wooden	29,0	24,8
Kevään kaatotuore hienohake Spring chips from fresh trees	Verkko — Mesh		15,6
Kevään kaatotuore palahake Spring chunks from fresh trees	Puu — Wooden	23,1	20,3
Kevään kaatotuore palahake Spring chunks from fresh trees	Verkko — Mesh		18,8
Kesän kaatotuore hienohake Summer chips from fresh trees	Puu — Wooden	33,9	29,7
Kesän kaatotuore palahake Summer chunks from fresh trees	Puu — Wooden	28,8	26,3
Kesän rasikuiva hienohake Summer chips from seasoned trees	Puu — Wooden	29,5	25,0
Kesän rasikuiva palahake Summer chunks from seasoned trees	Puu — Wooden	24,6	21,5
Syksyn rasikuiva hienohake Autumn chips from seasoned trees	Puu — Wooden	39,0	36,2
Syksyn rasikuiva hienohake Autumn chips from seasoned trees	Verkko — Mesh		27,4
Syksyn rasikuiva palahake Autumn chunks from seasoned trees	Puu — Wooden	35,3	31,6
Syksyn rasikuiva palahake Autumn chunks from seasoned trees	Verkko — Mesh		27,8

Taulukoista 2a ja b ilmenevät punnitustuloksista sekä kosteusnäytteistä lasketut kosteusprosentit kokeen lopussa. Kosteusnäytteistä laskettu paikkakuntien keskiarvo oli vuonna 1981 29,0 % ja vuonna 1982 24,8 %. Kuiva-ainetappiot olivat vastaavasti kuu-kautta kohti keskimäärin 1,4 % ja 1,5 %. Hakkeen tehollinen lämpöarvo oli noussut hieman molempina vuosina. Keskimääräiset muutokset olivat +1,3 % (1981) ja +0,9 % (1982) (taulukot 4—6).

Hakkeen kosteuden selitysasteet olivat hyvät molempina vuosina. Kun valitaan kosteuden väheneminen selitettäväksi muuttujaksi, saadaan hieman korkeampia arvoja (taulukko 7).

Verkkokontissa kuivattavaa kesän kaatotuoretta haketta tutkittiin vain Ylihärmässä (kuva 10). Selitysaste ($r^2 = 0,94$) on hyvä, koska paikkakuntien välinen hajonta puuttuu.

Verkkokontissa kuivuneen hakkeen kuivumista on luonnollista verrata Ylihärmässä lautakontissa vuonna 1982 kuivuneeseen ha-



Kuva 10. Verkkokontissa kuivatun kevään kaatotuoreen hienohakkeen kosteuden muuttuminen vuonna 1982.
 Fig. 10. Moisture content of chips made from fresh material in spring and dried in a wire mesh bin in 1982.

Taulukko 5. Hakkeen kuivatuksen aikana syntyneet kuiva-ainetappiot vuosina 1981 ja 1982.
 Table 5. Dry matter losses during the drying experiment in 1981 and 1982.

Tekoaika ja hake Season and particle size	Kontin tyyppi Bin type	Kokonaistappio Total losses		Kuukausitappio Monthly losses	
		1981	1982	1981	1982
Kevään kaatotuore hienohake Spring chips from fresh trees	Puu — Wooden	-5,1	-8,4	-1,4	-1,5
Kevään kaatotuore hienohake Spring chips from fresh trees	Verkko — Mesh		-3,5		-0,7
Kevään kaatotuore palahake Spring chunks from fresh trees	Puu — Wooden	-5,4	-6,0	-1,5	-1,2
Kevään kaatotuore palahake Spring chunks from fresh trees	Verkko — Mesh		-4,0		-0,8
Kesän kaatotuore hienohake Summer chips from fresh trees	Puu — Wooden	-8,5	-4,6	-1,5	-1,2
Kesän kaatotuore palahake Summer chunks from fresh trees	Puu — Wooden	-4,6	-5,4	-0,7	-1,1
Kesän rasikuiva hienohake Summer chips from seasoned trees	Puu — Wooden	-2,0	-4,1	-0,4	-0,9
Kesän rasikuiva palahake Summer chunks from seasoned trees	Puu — Wooden	-2,0	-0,7	-0,4	+0,4
Syksyn rasikuiva hienohake Autumn chips from seasoned trees	Puu — Wooden	-0,4	-4,9	-0,1	-2,4
Syksyn rasikuiva hienohake Autumn chips from seasoned trees	Verkko — Mesh		-3,7		-1,6
Syksyn rasikuiva palahake Autumn chunks from seasoned trees	Puu — Wooden	-1,1	-2,0	-0,3	-1,0
Syksyn rasikuiva palahake Autumn chunks from seasoned trees	Verkko — Mesh		-0,5		-0,2

ke-erään, koska kokeet suoritettiin vierekkäisissä konteissa. Samasta lähtökosteudesta huolimatta kuivui verkkokontissa ollut hake nopeammin kuivatusjakson alussa. Molemmat Ylihärmän hakkeet saavuttivat tasapainokosteuden ilman kanssa noin 15–20 viikon kuluttua kuivatuksen alkamisesta. Tällöin myös niiden punnitustuloksista lasketut kosteudet olivat lähes samat.

Verkkokontissa kuivatun hakkeen loppukosteus oli 15,6 % ja Ylihärmän H1-hakkeen 17,3 %. Kuiva-ainetappiot olivat kuukautta kohti vastaavasti 0,7 % ja 1,3 %. Hakkeen tehollisen lämpöarvon muutos oli verkkokontissa + 5,1 % ja lautakontissa + 2,0 %.

32. Kevään kaatotuore palahake

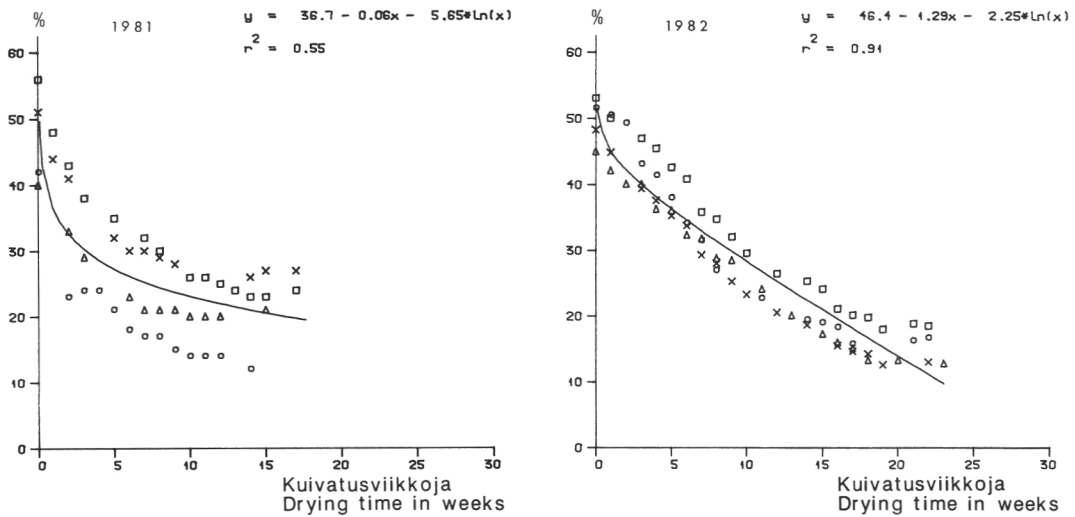
Palahakkeet kuivuivat kevään kaatotuoreita hienohakkeita nopeammin. Yhteistä pala- ja hienohakkeiden kuvaajille on kuitenkin kuivumiskokeen eriaikaisuudesta joh-

tuva kuvaajan logaritmisuus vuonna 1981 ja lineaarisuus vuonna 1982.

Lähtökosteudet 47,2 % (1981) ja 49,1 % (1982) olivat jotakuinkin samat kuin hienohakkeiden. Kuusi viikkoa pidemmän kuivatusajan vuoksi vuoden 1982 kuivatustulos oli parempi. Keskimääräiset kosteudet kokeen lopussa olivat 23,1 % (1981) ja 20,3 % (1982). Kuiva-ainetappiot olivat vastaavasti kuukaudessa 1,5 % ja 1,2 %. Tehollisen lämpöarvon muutokset olivat positiiviset lukuun ottamatta Hyrylää (1981) ja Joroista (1982). Keskimääräiset muutokset olivat +5,2 % (1981) ja +4,5 % (1982) (taulukot 4–6).

Käytettäessä hakkeen kosteutta selitettävänä muuttujana saadaan erinomainen selitysaste ($r^2 = 0,91$) vuonna 1982 (kuva 11). Ensimmäisen tutkimusvuoden tulosta ($r^2 = 0,55$) heikentää parven suuri hajonta. Arvot paranevat, mikäli tasoerot poistetaan käytämällä suhteellista kosteusprosenttia.

Verkkokontissa kuivatun palahakkeen kuivumisen kuvaaja osoittaa kuivumisen lä-



Kuva 11. Kevään kaatotuoreen palahakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.
 Fig. 11. Moisture content of chunks made from fresh material in spring as a function of time in 1981 and 1982.

Taulukko 6. Hakkeen tehollinen lämpöarvo ($\text{MJ}/\text{i-m}^3$) kuivatuksen lopussa sekä kuivumisen ja kuiva-ainetappioiden aiheuttama lämpöarvon kokonaismuutos prosentteina (%).

Table 6. The effective heat value (MJ/m^3 loose) of chips and chunks at the end of the drying experiment; and the accumulative change of heat value effected by drying and dry matter losses.

Tekoaika ja hake Season and particle size	Kontin tyyppi Bin type	Lämpöarvo, $\text{MJ}/\text{i-m}^3$ Heat value, MJ/m^3 loose		Muutos, % — Change, %	
		1981	1982	1981	1982
Kevään kaatotuore hienohake Spring chips from fresh trees	Puu — Wooden	2784	2827	+1,3	+0,9
Kevään kaatotuore hienohake Spring chips from fresh trees	Verkko — Mesh		2918		+5,1
Kevään kaatotuore palahake Spring chunks from fresh trees	Puu — Wooden	2764	2885	+5,2	+4,5
Kevään kaatotuore palahake Spring chunks from fresh trees	Verkko — Mesh		3185		+5,4
Kesän kaatotuore hienohake Summer chips from fresh trees	Puu — Wooden	2683	2781	-2,5	+1,2
Kesän kaatotuore palahake Summer chunks from fresh trees	Puu — Wooden	2515	2733	+2,9	+0,9
Kesän rasikuiva hienohake Summer chips from seasoned trees	Puu — Wooden	2834	2745	+3,0	-0,3
Kesän rasikuiva palahake Summer chunks from seasoned trees	Puu — Wooden	3001	2765	+1,7	+6,7
Syksyn rasikuiva hienohake Autumn chips from seasoned trees	Puu — Wooden	2787	2726	+3,5	-1,7
Syksyn rasikuiva hienohake Autumn chips from seasoned trees	Verkko — Mesh		3418		-2,1
Syksyn rasikuiva palahake Autumn chunks from seasoned trees	Puu — Wooden	2789	2643	+3,8	+1,4
Syksyn rasikuiva palahake Autumn chunks from seasoned trees	Verkko — Mesh		2590		+1,1

Taulukko 7. Hakkeen kosteuden muuttuminen viikkoina mitatun kuivumisajan (x) pituudella selitettynä.
 Table 7. Moisture content of chips and chunks as a function of drying time (x) measured in weeks.

Hake — Chips/Chunks	Kontti — Bin	Vuosi Year	Yhtälö — Equation	r ²	sy·x
Hakkeen kosteus — Moisture content					
Kevään kaatotuore hienohake <i>Spring chips from fresh trees</i>	Puu — Wood	1981	43,5–0,74x– 2,89 ln(x)	0,81	3,60
		1982	51,2–1,67x+ 0,39 ln(x)	0,89	3,95
Kevään kaatotuore palahake <i>Spring chunks from fresh trees</i>	Verkko — Mesh	1982	44,3–1,44x– 1,87 ln(x)	0,94	3,28
		1981	36,7–0,06x– 5,65 ln(x)	0,55	6,88
Kevään kaatotuore palahake <i>Spring chunks from fresh trees</i>	Puu — Wood	1982	46,4–1,29x– 2,25 ln(x)	0,91	3,66
		1982	46,7–1,50x– 1,23 ln(x)	0,96	2,45
Kesän kaatotuore hienohake <i>Summer chips from fresh trees</i>	Puu — Wood	1981	40,0+0,03x– 5,41 ln(x)	0,61	5,68
		1982	43,5–0,59x– 3,03 ln(x)	0,64	5,90
Kesän kaatotuore palahake <i>Summer chunks from fresh trees</i>	Puu — Wood	1981	40,0+0,20x– 6,29 ln(x)	0,39	9,08
		1982	38,7–0,24x– 4,69 ln(x)	0,71	5,30
Kesän rasikuiva hienohake <i>Summer chips from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1981	33,5+0,35x– 4,93 ln(x)	0,38	6,18
		1982	31,2+0,13x– 3,66 ln(x)	0,61	3,98
Kesän rasikuiva palahake <i>Summer chunks from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1981	27,0+0,75x– 6,65 ln(x)	0,50	5,62
		1982	29,8+0,30x– 4,26 ln(x)	0,44	5,59
Syksyn rasikuiva hienohake <i>Autumn chips from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1981	39,6+0,38x– 2,39 ln(x)	0,25	4,06
		1982	38,0+0,06x– 1,51 ln(x)	0,09	7,30
Syksyn rasikuiva palahake <i>Autumn chunks from seasoned trees</i>	Verkko — Mesh	1982	28,8+0,23x– 1,81 ln(x)	0,94	0,68
		1981	37,4+0,27x– 2,29 ln(x)	0,36	3,36
Syksyn rasikuiva palahake <i>Autumn chunks from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1982	35,1+0,28x– 2,41 ln(x)	0,22	6,08
		1982	29,6+0,41x– 2,04 ln(x)	0,83	1,18
Kosteuden aleneminen — Reduction of moisture content					
Kevään kaatotuore hienohake <i>Spring chips from fresh trees</i>	Puu — Wood	1981	88,0–1,64x– 5,63 ln(x)	0,84	6,80
		1982	101,8–3,35x+ 0,77 ln(x)	0,94	5,80
Kevään kaatotuore palahake <i>Spring chunks from fresh trees</i>	Verkko — Mesh	1982	97,1–3,16x– 4,10 ln(x)	0,94	7,20
		1981	75,3–0,18x– 11,06 ln(x)	0,74	9,61
Kevään kaatotuore palahake <i>Spring chunks from fresh trees</i>	Puu — Wood	1982	94,1–2,64x– 4,48 ln(x)	0,94	5,65
		1982	98,2–3,16x– 2,57 ln(x)	0,96	5,14
Kesän kaatotuore hienohake <i>Summer chips from fresh trees</i>	Puu — Wood	1981	80,6+0,09x– 11,01 ln(x)	0,72	8,90
		1982	87,1–0,99x– 6,58 ln(x)	0,81	7,54
Kesän kaatotuore palahake <i>Summer chunks from fresh trees</i>	Puu — Wood	1981	77,4+0,39x– 12,35 ln(x)	0,57	12,49
		1982	79,5–0,35x– 10,08 ln(x)	0,88	6,13
Kesän rasikuiva hienohake <i>Summer chips from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1981	77,8+0,73x– 11,24 ln(x)	0,60	9,35
		1982	80,1+0,51x– 9,67 ln(x)	0,80	6,16
Kesän rasikuiva palahake <i>Summer chunks from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1981	66,0+1,76x– 16,33 ln(x)	0,64	10,47
		1982	75,9+1,11x– 11,58 ln(x)	0,84	5,33
Syksyn rasikuiva hienohake <i>Autumn chips from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1981	88,6+0,76x– 5,44 ln(x)	0,67	3,99
		1982	94,4–0,54x– 2,44 ln(x)	0,59	4,83
Syksyn rasikuiva palahake <i>Autumn chunks from seasoned trees</i>	Verkko — Mesh	1982	87,4+0,71x– 5,50 ln(x)	0,94	2,04
		1981	88,5+0,62x– 5,34 ln(x)	0,65	4,37
Syksyn rasikuiva palahake <i>Autumn chunks from seasoned trees</i>	Puu — Wood	1982	88,7–0,09x– 4,78 ln(x)	0,69	5,63
		1982	86,2+1,20x– 5,94 ln(x)	0,83	3,45

hes yhtäläiseksi lautakonttien hakkeiden kanssa (kuva 12). Verkkokontin hake kuivui myös samalla nopeudella kuin Ylihärmän lautakontin hake.

Verkkokontin hakkeen loppukosteus oli yli kaksi prosenttiyksikköä suurempi Ylihärmän lautakontin hakkeen lukemaa: 18,8 % ja 16,5 %. Toisaalta verkkokontissa olleen

hakkeen lähtökosteuskin oli suurempi. Koko kevään kaatotuoreen palahake-erän keskiarvokosteus vastaavana vuonna oli 20,3 %. Verkkokontin hakkeen kuiva-ainetappiot (0,8 %/kk) olivat jokseenkin samansuuruiset kuin Ylihärmän lautakontin hakkeessa (0,9 %/kk) ja koko palahake-erässä (1,2 %/kk). Tehollisen lämpöarvon muutos oli verkko-

kontissa +5,4 %, Ylihärmän lautakontissa +3,3 % ja koko erässä +4,5 %.

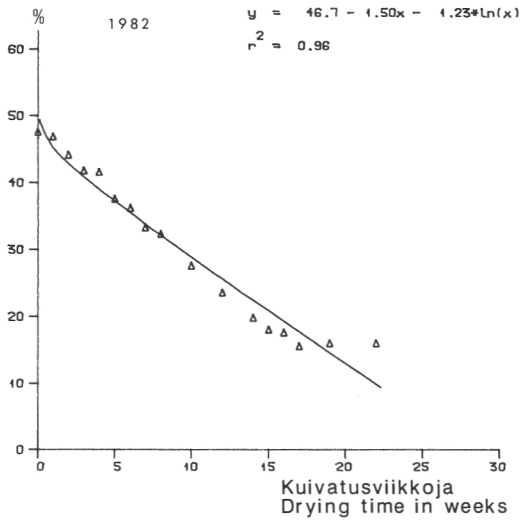
33. Kesän kaatotuore hienohake

Hakkeiden valmistus ajoittui molempina koevuosina kesä-heinäkuun vaihteeseen (kuva 6). Hakkeiden lähtökosteuksien keskiarvot olivat 49,2 % (1981) ja 49,1 % (1982). Kokeen alussa paikkakuntien välinen hajonta oli sama molempina vuosina (kuva 13). Kuivatuksen edistyessä hajonta kuitenkin lisääntyi jonkin verran. Näin oli etenkin vuonna 1981, jolloin Hyrylän hakkeen kuivuminen jatkui vielä joitakin viikkoja kuivumisen pysähtyttyä muilla paikkakunnilla.

Hakkeiden keskimääräiset loppukosteudet ovat 33,9 % (1981) ja 29,7 % (1982). Vuoden 1981 suurempi arvo johtuu hakkeen kuivatuksen jatkumisesta talveen asti, jolloin hakkeeseen ehti imeytyä uutta kosteutta ilmasta. Kuiva-ainetappiot kuukautta kohti olivat 1,5 % (1981) ja 1,2 % (1982) (taulukot 4 ja 5).

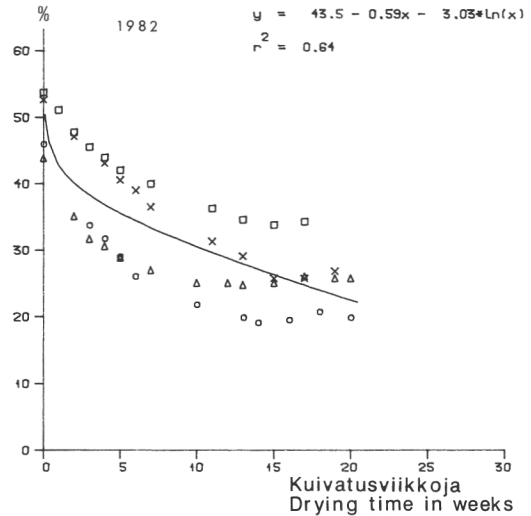
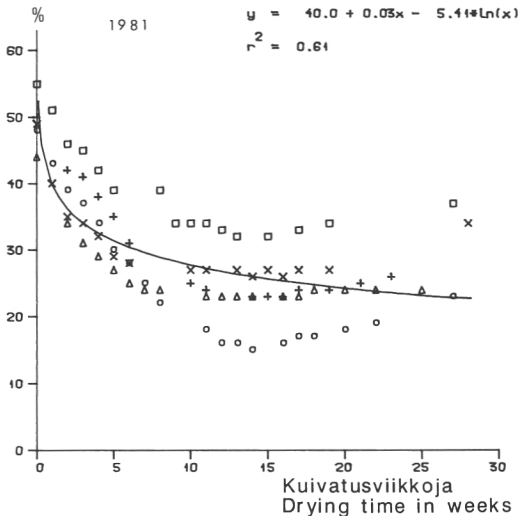
Tehollisen lämpöarvon muutokset olivat molempien tutkimusvuosien välillä hyvin erilaiset. Erityisen huomionarvoinen oli vuosi 1981, sillä muutokset olivat negatiiviset kaikilla paikkakunnilla Janakkalaa lukuun ottamatta. Muutokset olivat keskimäärin -2,5 % (1981) ja +1,2 % (1982) (taulukko 6).

Kosteuden ollessa selitettävänä muuttujana saadaan kuivumisen yhtälölle tyydyttävät



Kuva 12. Verkkokontissa kuivatusviikkojen palahakkeen kosteuden muuttuminen vuonna 1982.
Fig. 12. Moisture content of chunks made from fresh material in spring and dried in a wire mesh bin in 1982.

selitysasteet (taulukko 7). Vuoden 1981 alhaisempi selitysaste johtunee Hyrylän hakeerän poikkeavuudesta muihin paikkakuntiin nähden. Mikäli muuttujaksi valitaan kosteuden väheneminen, saadaan yhtälöille hieman paremmat selitysasteet.



Kuva 13. Kesän kaatotuoreen hienohakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.

Fig. 13. Moisture content of chips made from fresh material in summer as a function of time in 1981 and 1982.

34. Kesän kaatotuore palahake

Kesän kaatotuoreen palahakkeen kosteuden kuvaaja tarkasteltaessa kiinnittyy huomio heti suureen hajontaan vuonna 1981. Lähtökosteuksien suuren hajonnan lisäksi (40,7-57,8 %) hajonta vain lisääntyi kuivatuksen edistyessä. Paikkakuntien välinen järjestys ei kuitenkaan muuttunut kokeen aikana (kuva 14).

Kosteuden ollessa selitettävänä muuttujana saadaan selitysasteisiin selvät erot, $r^2 = 0,39$ (1981) ja $r^2 = 0,71$ (1982). Ylihärmän (1982) hakkeen vähäinen lähtökosteus aiheuttaa sen erottumisen muista paikkakunnista, vaikka kosteuden muuttuminen onkin ollut niiden kanssa samansuuntaista. Kun laskennassa käytetään suhteellista kosteutta, saadaan vuodelle 1981 kohtuulliset ja vuodelle 1982 hyvät selitysasteet (taulukko 7).

Hakkeiden lähtökosteuksien keskiarvot olivat 51,0 % (1981) ja 48,3 % (1982). Loppukosteuksiksi saatiin näytteiden perusteella vastaavasti 28,8 % ja 26,3 %. Hieman suurempi loppukosteus vuonna 1981 johtuu pitkästä kuivatusajasta aivan niin kuin saman vuoden hienohakkeiden loppukosteuskin.

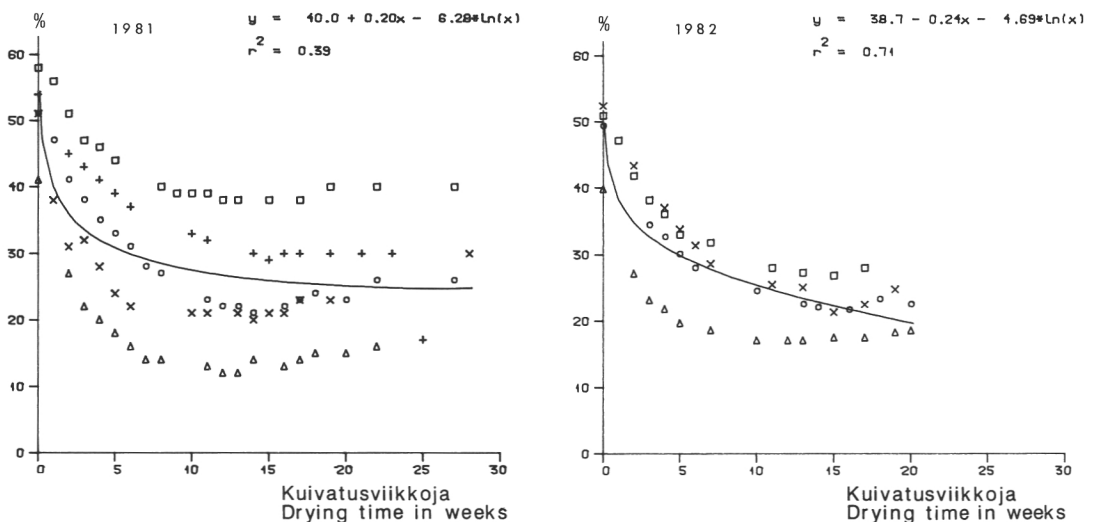
Kuiva-ainetappiot olivat kuukaudessa keskimäärin 0,7 % (1981) ja 1,1 % (1982). Kokonaistappiokin jäi pienemmäksi vuonna 1981 pitemmästä kuivatusajasta huolimatta. Tehollisen lämpöarvon muutoksiksi saatiin +2,9 % (1981) ja +0,9 % (1982) (taulukot 5 ja 6).

35. Kesän rasikuiva hienohake

Kesän rasikuivien hienohakkeiden kuivatus tapahtui samaan aikaan rasikuivien palahakkeiden sekä kesän kaatotuoreiden hakkeiden kanssa. Rasikuivatuksen pituus ja ajoittuminen vaihtelivat melko huomattavasti tutkimusvuosien välillä. Keskimääräiset kuivatusajat olivat 7,6 viikkoa (1981) ja 5,0 viikkoa (1982). Puut haketettiin ja hake kuivatettiin kuitenkin molempina vuosina lähes samaan aikaan. Kuivatus kesti kuitenkin huomattavasti pitempään vuonna 1981 kuin vuonna 1982 (kuva 15).

Rasikuivatus onnistui vuonna 1982 paremmin kuin vuonna 1981. Haketetun rasipuun keskimääräiset kosteudet kuivatuksen alussa olivat 43,0 (1981) ja 38,7 (1982). Puista ei otettu kosteusnäytteitä rasiinkaadon yhteydessä. Rasikuivatuksen onnistumisessa oli eroavaisuuksia myös paikkakuntien välillä erilaisten kuivatusolojen vuoksi. Konttikui- vatuksen jälkeen hakkeiden loppukosteudet olivat 29,5 % (1981) ja 25,0 % (1982).

Molempina koevuosina kuivuminen edistyi lähes yhtä nopeasti. Lähtökosteuksien hajonta oli kuitenkin huomattavasti suurempi vuonna 1981, mikä johti alhaisempaan selitysasteeseen ($r^2 = 0,38$) kuin mitä saatiin vuoden 1982 hakkeille ($r^2 = 0,61$). Kun lähtökosteuksissa esiintyneet erot eliminoidaan käyttämällä kosteuden vähenemistä selittävänä muuttujana, saadaan selitysasteiksi 0,60 (1981) ja 0,80 (1982).



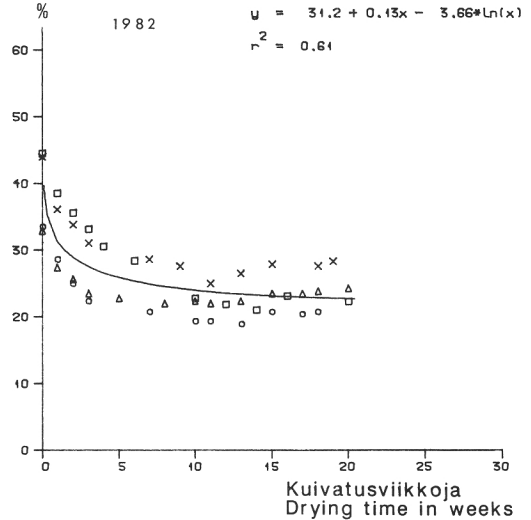
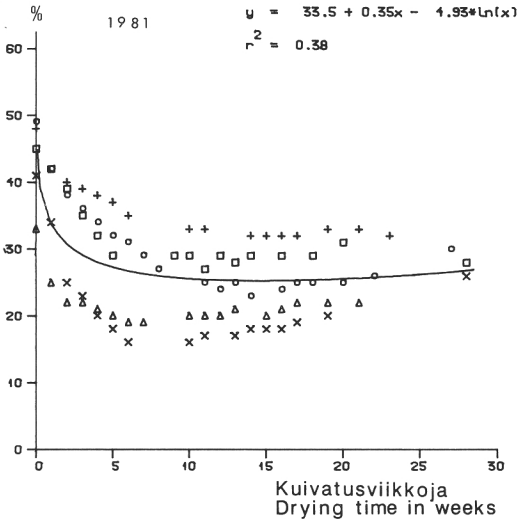
Kuva 14. Kesän kaatotuoreen palahakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.

Fig. 14. Moisture content of chunks made from fresh material in summer as a function of time in 1981 and 1982.

Kuiva-ainetappiot olivat kuukaudessa 0,4 % (1981) ja 0,9 % (1982). Pidemmästä kuivatusajasta huolimatta vuoden 1981 kokonaiskuiva-ainetappio (2,0 %) oli pienempi kuin vuoden 1982 (4,1 %). Tehollisen lämpöarvon muutokset olivat +3,0 % (1981) ja -0,3 % (1982) (taulukot 5 ja 6).

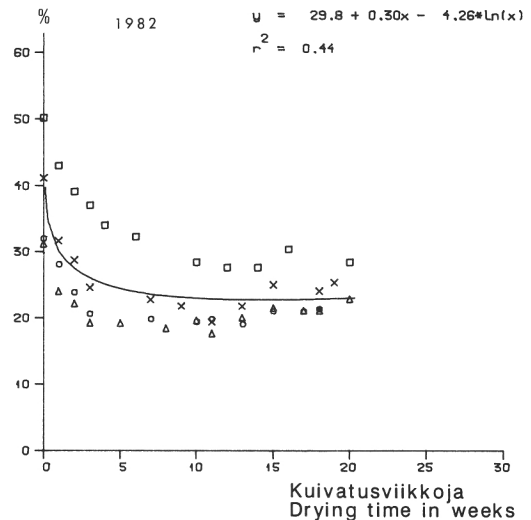
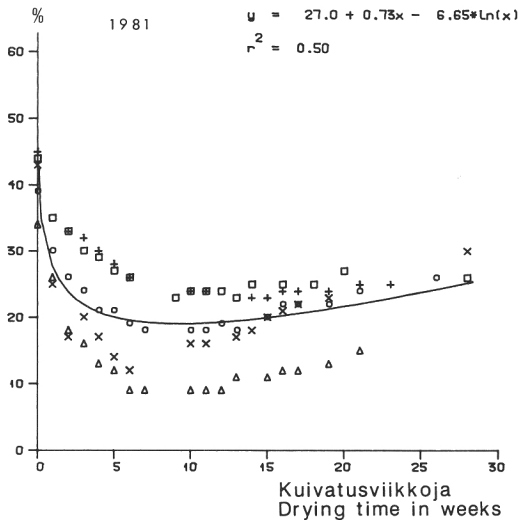
36. Kesän rasikuiva palahake

Vuosien 1981 ja 1982 kuvaajien välisenä erona on vuoden 1981 kuvaajan kääntymisen nousevaksi sen jälkeen, kun se on ohittanut pienimmän arvonsa noin yhdeksän viikon kuluttua kuivatuksen alusta (kuva 16).



Kuva 15. Kesän rasikuivan hienohakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.

Fig. 15. Moisture content of chips made from leaf-seasoned material in summer as a function of time in 1981 and 1982.



Kuva 16. Kesän rasikuivan palahakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.

Fig. 16. Moisture content of chunks made from leaf-seasoned material in summer as a function of time in 1981 and 1982.

Vuoden 1982 kuvaaja sen sijaan pysyy alhaisimmalla saavuttamallaan tasolla. Hakkeen kosteuden ja kosteuden vähenemisen ollessa selitettävinä muuttujina ovat selitysasteet samansuuruiset kuin hienohakkeilla.

Rasikuivien palahakkeiden lähtökosteudet, 41,1 % (1981) ja 38,6 % (1982), olivat noin 10 prosenttiyksikköä vastaavia kaatotuoreiden palahakkeiden kosteuksia pienemmät. Kuivatuksen lopussa otetuista näytteistä saatiin loppukosteudeksi 24,6 % (1981) ja 21,5 % (1982).

Kuiva-ainetappiot olivat vuonna 1981 0,4 %/kk, mutta vuoden 1982 tulos selvitti kuiva-aineen lisääntyneen 0,4 %/kk. Tulos johtuu näytteen ottoon liittyvästä virheestä, sillä ainehan ei voi lisääntyä. Tehollisen lämpöarvon muutos oli kaikilla paikkakunnilla positiivinen vuoden 1981 Ylihärmän tulosta lukuun ottamatta. Lämpöarvojen muutosten keskiarvoiksi saatiin +1,7 % (1981) ja +6,7 % (1982) (taulukot 5 ja 6).

37. Syksyn rasikuiva hienohake

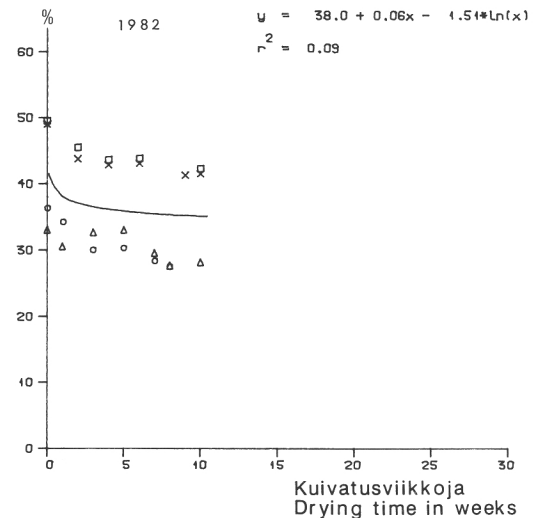
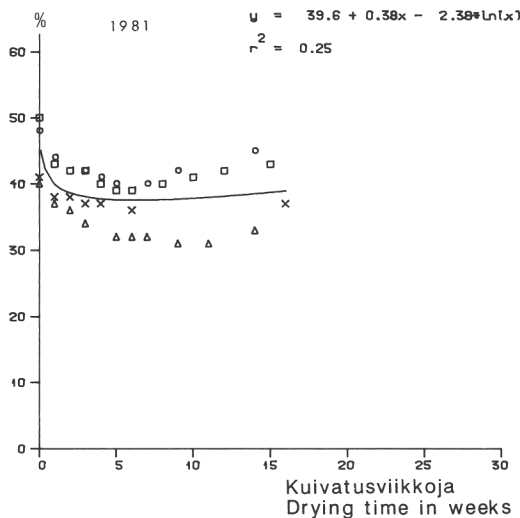
Rasikuivatuksen ajoittuminen vaihteli vuoden 1981 syksyllä paljon ja kuivatus erosi kestoajaltaan huomattavasti kesän rasikuivien puiden kuivatuksessa käytetystä ajasta. Vuoden 1982 kesän ja syksyn rasissaoloajat sen sijaan vastasivat pituudeltaan toisiaan (kuva 6). Hakkeen kuivatus kesti vuonna 1981 noin kuukauden kauemmin kuin vuonna

na 1982, ja hakkeen kuivatuksen alkamis- ja loppumisajankohdat vaihtelivat usean viikon verran.

Eripituisten kuivatusaikaisten vuoksi kuivumista esittävät kuvaajat eroavat toisistaan jonkin verran eri vuosina. Hakkeen kosteus on selvästi lisääntynyt vuonna 1981 kymmenen kuivatusviikon jälkeen, mikä aiheuttaa sen, että kuvaajan loppuosa nousee. Molemmille vuosille on olennaista tehokkaan kuivumisen rajoittuminen noin kahteen ensimmäiseen kuivatusviikkoon, joiden aikana tasapainotila ilman kosteuden kanssa on saavutettu (kuva 17).

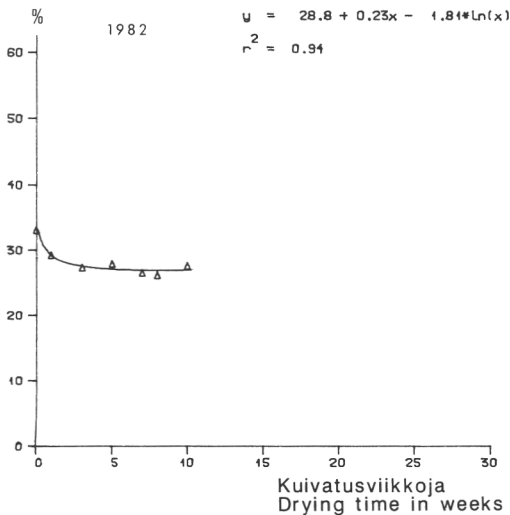
Kuivumista kuvaaviin yhtälöihin liittyvät selitysasteet ovat huonot. Toisen vuoden kokeiden pienet selitysarvot johtuvat rasikuivatuksen vaihtelevasta onnistumisesta. Janakalan ja Joroisten puiden rasikuivatus ei onnistunut toivotulla tavalla, sillä hakkeen alkukosteus jäi näillä paikkakunnilla 50 %:n tuntumaan. Selitysasteen pieni arvo johtuu toisaalta kuivatusajan lyhydestä. Erityisesti vuoden 1982 kokeessa kuvaa heikkoa korrelaatiota havaintopisteiden muodostama lähes suorakaiteen muotoinen parvi. Selitysasteeksi saatiin vuonna 1981 $r^2 = 0,25$ ja vuonna 1982 $r^2 = 0,09$. Mikäli tasoerot poistetaan käyttämällä kosteuden vähenemistä selitettävänä muuttujana, saadaan selitysasteiksi vastaavasti 0,67 ja 0,59.

Hienohaketta kuivatettiin samaan aikaan lautakonteissa ja verkkokonteissa. Muodoiltaan kuivumista esittävät kuvaajat ovat mel-



Kuva 17. Syksyn rasikuivan hienohakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.

Fig. 17. Moisture content of chips made from leaf-seasoned material in autumn as a function of time in 1981 and 1982.



Kuva 18. Verkkokontissa kuivatun syksyn rasikuivan hienohakkeen kosteuden muuttuminen vuonna 1982.
Fig. 18. Moisture content of chips made from leaf-seasoned material and dried in a wire mesh bin in 1982.

kein identtiset (kuvat 17 ja 18). Kosteuseroa on kuitenkin noin kymmenen prosenttiyksikköä. Verrattaessa verkkokonttikuivatusta Ylihärmän lautakonttikuivatukseen havaitaan kosteuden vähentyneen molemmissa hakkeissa saman verran. Eroina ovat kuitenkin Ylihärmän hakkeen kosteuden lisääntyminen ja vähentyminen 3.—7. kuivatusviikkojen aikana. Vastaavia muutoksia ei havaitu verkkokontin hakkeessa.

Sää oli melko huono hakkeen kuivatukseen syys-lokakuun vaihteessa (taulukko 3). Ilman suhteellinen kosteus oli melko suuri ja sekä lämpötila että kyllästysvajaus olivat vähäiset. Ne vastannevat suurin piirtein huhtikuun oloja. Kuivumiselle on kuitenkin huomattavasti paremmat edellytykset keväällä, koska sää paranee kesän lähestyessä. Syksyllä taas tilanne on päinvastainen sään jatkuvasti heiketessä. Hakkeen kuivatuksen lisäksi heikkenee rasikuivatuksen käyttökelpoisuus.

Hakkeiden lähtökosteudet olivat vuosina 1981 ja 1982 44,8 % ja 41,9 % ja loppukosteudet vastaavasti keskimäärin 39,0 % ja 36,2 %. Molempina vuosina on siis tuloksena samansuuruinen kosteuden väheneminen. Kuukautta kohti lasketut kuiva-ainetappiot eroavat melko huomattavasti: 0,1 % (1981) ja 2,4 % (1982). Myös kokonaistappioissa oli selvä ero: 0,4 % (1981) ja 4,9 % (1982). Tähän ei vaikuttanut se, että kuivatus kesti kauemmin vuonna 1981. Tehollisen lämpö-

arvon muutoksiksi saatiin +3,5 % (1981) ja -1,7 % (1982) (taulukot 4-6).

Verkkokontissa vuonna 1982 kuivattu hake (27,4 %) saavutti vähäisemmän kosteuden kuin Ylihärmän hake (30,1 %) ja koko rasikuiva hake-erä (36,2 %). Kuiva-ainetappiot olivat verkkokontin hakkeessa (1,6 %/kk) jonkin verran Ylihärmän hake-erän (2,0 %/kk) ja kaikkien rasikuivien hake-erien keskiarvoja (2,4 %/kk) pienemmät. Tehollisen lämpöarvon muutos oli negatiivinen sekä verkkokontin hakkeessa (-2,1 %) että koko erässä (-1,7 %). Myös Ylihärmän erän lämpöarvo pieneni (-3,7 %).

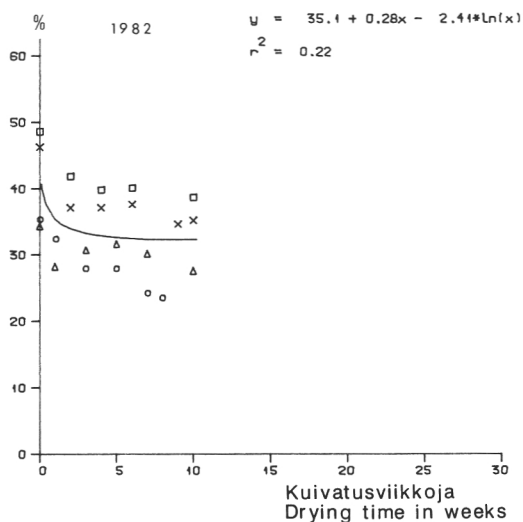
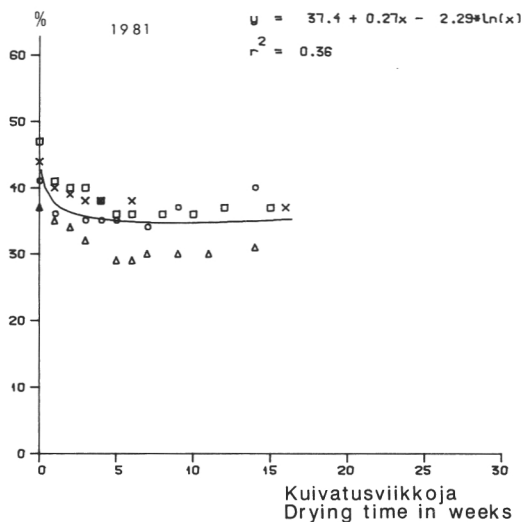
38. Syksyn rasikuiva palahake

Hakkeen kuivumista esittävät kuvaajat vuosilta 1981 ja 1982 ovat jokseenkin samanlaiset kuin vastaavan ajankohdan hienohakkeiden. Heti kuivatusajan alussa, 1—2 viikon aikana, kuivuminen on noin viiden prosenttiyksikön suuruista. Tämä koskee myös verkkokontissa kuivatua haketta (kuvat 19 ja 20).

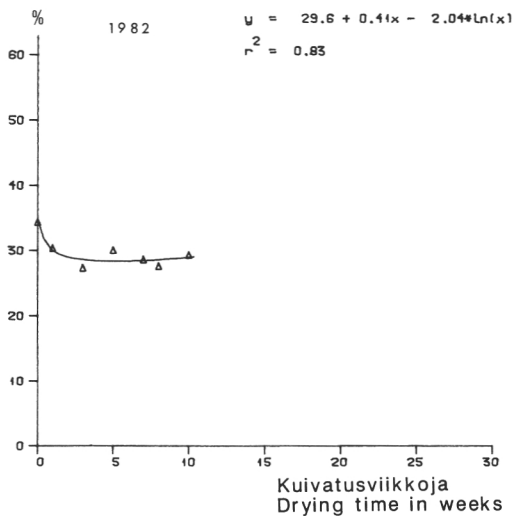
Laskettujen yhtälöiden selityksasteet ovat melko pienet molempina vuosina. Syyt heikkoihin selityksasteisiin ovat samat kuin hienohakkeenkin kohdalla. Selityksasteet paranevat huomattavasti, kun kosteuden väheneminen valitaan selitettäväksi muuttujaksi. Koska verkkokontteja oli vain yksi, hajonta oli pieni ja selityksaste pysyi samana, käytettiinpä selittäjänä kosteusprosenttia tai kosteuden vähenemistä (taulukko 7).

Palahakkeiden keskimääräiset alkukosteudet olivat 42,4 % (1981) ja 41,1 % (1982) ja loppukosteudet vastaavasti 35,3 % (1981) ja 31,6 % (1982). Kuiva-ainetappioiksi saatiin kuukautta kohti 0,3 % (1981) ja 1,0 % (1982). Kokonaistappiot olivat myös vuoden 1981 eduksi luvuin 1,1 % (1981) ja 2,0 % (1982). Tehollisen lämpöarvon muutokset olivat vastaavasti +3,8 % ja +1,4 % (taulukot 4—6).

Ylihärmän verkkokontin tulos (27,8 %) on saman suuruinen Ylihärmän lautakontin hakkeen kosteuden kanssa (28,0 %). Myös kuiva-ainetappiot olivat molemmilla hakkeilla vastaavasti samanlaiset: 0,2 %/kk ja 0,3 %/kk. Täten on luonnollista, että myös tehollisen lämpöarvon muutokset ovat lähellä toisiaan. Muutoksien suuruudet olivat +1,1 % verkkokontissa ja +0,9 % Ylihärmän lautakontissa.



Kuva 19. Syksyn rasikuivan palahakkeen kosteuden muuttuminen vuosina 1981 ja 1982.
 Fig. 19. Moisture content of chunks made from leaf-seasoned material in autumn as a function of time in 1981 and 1982.



Kuva 20. Verkkokontissa kuivatun syksyn rasikuivan palahakkeen kosteuden muuttuminen vuonna 1982.
 Fig. 20. Moisture content of chunks made from leaf-seasoned material in autumn and dried in a wire mesh bin in 1982.

4. HAKE-ERIEEN VÄLISET EROT TEKIJÖITTÄIN

41. Hakkeen palakoon vaikutus

Tässä tarkastelussa on rajoitettu pelkääntään hieno- ja palahakkeen välisiin kuivumiseroihin, eikä huomioon ole otettu kummankaan hakkeen sisäisen palakokojakau-
man vaihtelua. Kuva 8 esittää hakepalojen pituusjakauman, joka vastaa Hakkilan ja Kalajan (1981) sekä Heikan ja Piiraisen (1981) tuloksia. Palakokojakaumien suuret erot aiheuttavat myös huomattavia eroja hakkeen painossa ja tiiviydessä (taulukot 1a, b). Tämä puolestaan vaikuttaa hakkeen ilmanläpäisykykyyn. Gislerudin (1983) tekemissä puhalluskokeissa, joissa ilmanpaineen voimakkuus oli 500 Pa/m, palahakkeen massan läpäiseen ilman määrä oli nelinkertainen hienohakkeeseen verrattuna.

Kaatotuoreen palahakkeen kuivuminen on ensimmäisinä viikkoina aina hienohaketta nopeampaa. Rasikuivatuissa hakkeissa palakoon vaikutus ei ole yhtä olennainen, mikä johtunee rasihakkeiden vähäisestä lähtökosteudesta. Kuivattu palahake saavutti lautakonteissa aina noin 4—5 prosenttiyksikköä hienohaketta vähäisemmän kosteuden paikkakunnasta riippumatta (taulukot 1a,b ja 4).

Kun haketta kuivatettiin verkkokonteissa, palakoon vaikutus ei ollut yhtä selvä. Kevään kaatotuoreen palahakkeen kosteus kokeen lopussa oli 18,9 % ja hienohakkeen 15,6 %. Syksyn rasikuivien hakkeiden loppukosteus oli hienohakkeella 27,4 % ja palahakkeella 27,8 %.

Palakoolla ei ollut johdonmukaista vaikutusta kuiva-ainetappioiden määrään. Huomattavampia eroja syntyi ainoastaan vuoden 1981 kesän kaatotuoreiden hakkeiden välille sekä vuoden 1982 kevään kaatotuoreiden, kesän rasikuivien ja syksyn rasikuivien hakkeiden välille. Näissä tapauksissa palahakkeiden kuiva-ainetappiot olivat hienohakkeita pienemmät (taulukko 5). Erot muiden erien välillä olivat vähäiset. Verrattaessa hieno- ja palahakkeen yhteenlaskettujen kuiva-ainetappioiden kuukausittaisia keskiarvoja olivat palahakkeelle saadut arvot kumpainakin koevuotena hieman pienemmät. Tap-

pioksi saatiin tällöin hienohakkeelle 0,9 % (1981) ja 1,5 % (1982) ja palahakkeelle 0,8 % (1981) ja 0,9 % (1982).

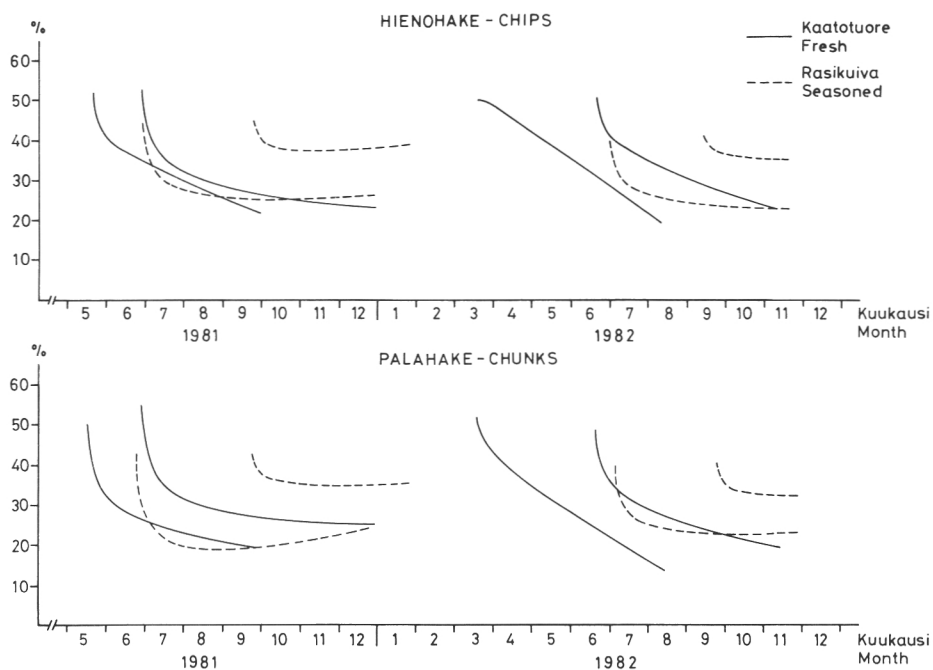
Palahakkeiden lämpöarvot (+3,4 % (1981), +3,4 % (1982)) suurenvat kuivatuksessa keskimäärin hienohakkeiden arvoja (+2,6 % (1981), +0,5 % (1982)) enemmän. Verkkokonteissa kuivattujen hakkeiden lämpöarvon muutokset olivat hyvin samanlaiset kuin lautakonteissa kuivatuilla hakkeilla. Hienohakkeiden keskimääräinen muutos oli +1,1 % ja palahakkeiden +3,4 %.

Hakeirtokuutiometrin sisältämän tehollisen lämpöarvon määrä (MJ/i-m³) oli kokeen lopussa hienohakkeella jonkin verran palahaketta suurempi, mikä johtuu hienohakkeen suuremmasta massasta. Kuivatuksen jälkeen hienohakkeen irtokuutiometrin energiasisältö oli keskimäärin 2 772 MJ (1981) ja 2 770 MJ (1982). Palahakkeen arvot olivat 2 767 MJ (1981) ja 2 757 MJ (1982). Verkkokonteissa kuivuneelle hieno- ja palahakkeelle saatiin keskiarvoiksi 3 168 MJ ja 2 888 MJ.

42. Kuivatusajan vaikutus

Kuvista 21 ja 22 nähdään, että kuivatuksen ajankohdalla on huomattava vaikutus kuivumisen etenemiseen. Kuivuminen oli erityisen hidasta aikaisin keväällä (1982) tehdyillä hakkeilla. Muista vuodenaajoista poiketen ei kuivatuksen alussa esiintynyt nopeata kosteuden vähenemistä, vaan kuivuminen oli tasaisen hidasta loppuun saakka. Kun kuivatus aloitettiin toukokuussa kuivui hake ver-
raten nopeasti ensimmäisten viikkojen aikana. Kuivuminen tasaantui 10—15 viikon kulluttua kuivatuksen alusta, kun hakkeen kosteus lähestyi tasapainotilaa ilman suhteellisen kosteuden kanssa (Panshin ja de Zeeuw 1970).

Kesä-elokuun välinen aika on paras hakkeen kuivatukseen. Kaatotuoreesta puusta tehdyn hakkeen kosteus haihtui 10—20 prosenttiyksikköä parin ensimmäisen viikon aikana ja haihtuminen jatkui hitaampana vielä muutaman viikon ajan. Palakoosta riippuen



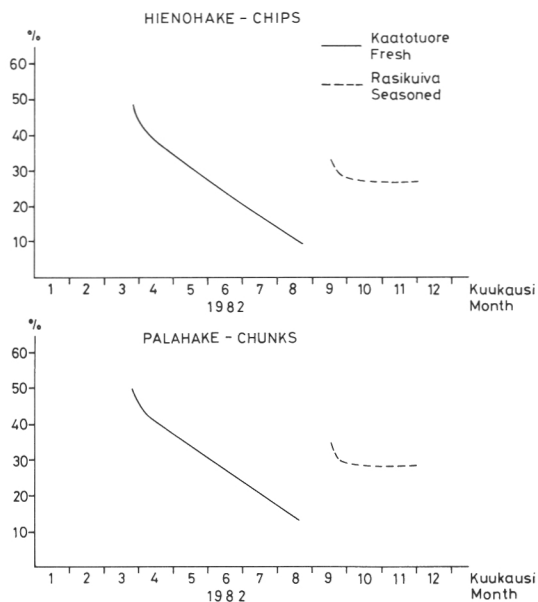
Kuva 21. Kaatotuoreista ja rasikuivista puista hakettujen hieno- ja palahakkeiden kuivuminen vuodenaikaan nähden.

Fig. 21. Drying of chips and chunks in relation to season when fresh and leaf-seasoned materials are used.

hake saavutti 30 %:n kosteuden 5—10 viikossa.

Kesällä rasikuivatuista puista tehdyn hakkeen kuivuminen edistyi samalla tavalla kuin kaatotuoreiden hakkeiden kuivuminen. Noin 10:tä prosenttiyksikköä pienemmän lähtökosteutensa vuoksi rasihakkeet pääsevät ilman kanssa kosteustasapainoon kaatotuoreita hakkeita nopeammin. Tehokas kuivatusaika kesti ainoastaan viitisen viikkoa ja saavutettu kosteus oli noin 25 %.

Hyvin lyhyeksi jäänyt tehollinen kuivumisaika ja vähäinen kosteuden haihtuminen olivat luonteenomaisia piirteitä syksyn rasikuivien hakkeiden kuivumiselle. Syyskuun huomattavasti kesäkuukausia pienemmän kyllästysvajauksen vuoksi ei ilma pystynyt ottamaan vastaan yhtä paljon vettä kuin kesällä. Rasikuivatus oli jo sitä paitsi vähentänyt puun kosteutta jonkin verran. Hakkeen kosteus väheni 2—3 viikon aikana noin 5 prosenttiyksikköä ja hake saavutti 35—40 %:n loppukosteuden. Pidentetty kuivatusaika johti kosteuden vähittäiseen lisääntymiseen (kuva 21).



Kuva 22. Kaatotuoreista ja rasikuivista puista hakettujen hieno- ja palahakkeiden kuivuminen verkko-konteissa vuodenaikaan nähden.

Fig. 22. Drying of chips and chunks in relation to season when wire mesh bins and fresh and leaf-seasoned materials are used.

Konttien tyhjennysaika oli kevään kaatotuoreen hakkeen kosteus vähäisin. Kosteusjärjestyksessä seuraavina olivat kesän rasikuivat, kesän kaatotuoreet ja viimeisenä syksyn rasikuivat hakkeet. On kuitenkin otettava huomioon, että kyseessä oli koetilanne, jossa kevään kaatotuoreita hakkeita lukuun ottamatta hakkeiden loppukosteus ei ollut sama kuin pienin saavutettu kosteus. Hakkeen kosteuden keräämisen estämiseksi kontit tuleekin tyhjentää varastoon ajoissa.

Kuiva-ainetappiot ovat riippuvaisia sekä ajankohdasta että puutavaran tekotavasta. Kokonaistappiot olivat suurimmat kaatotuoreista puista tehdyissä erissä. Rasipuiden tappiot olivat huomattavasti niitä pienemmät, etenkin vuonna 1981. Myös kuukauden keskimääräiset tappiot antavat saman tuloksen (taulukko 5). Tutkimuksessa ei selvitetty, missä kuivatuksen vaiheessa kuiva-ainetappiot olivat suurimmat. Myöskään rasikuivatukselta aiheutuvia tappioita ei tutkittu.

Hake-erien lämpöarvoissa ei ollut ajankohdan aiheuttamia johdonmukaisia eroja. Kuivan hakkeen lämpöarvot olivat enimäkseen 2 700—2 800 MJ/i-m³. Vuoden 1981 tuloksissa oli hieman enemmän vaihtelua kuin vuonna 1982 (taulukko 6).

43. Konttityypin vaikutus

Verkkopäällystetty kontti soveltuu kuivatusluokkiensa puolesta paremmin hakkeen kuivatukseseen kuin lautakontti. Kun verrataan verkkokonteissa kuivuneita hakkeita muihin hakkeisiin voidaan päätellä seuraavaa. Kevään kaatotuoreen palahakkeen kuivuminen ei ollut sidoksissa konttityyppiin. Kevään kaatotuoreen hienohakkeen kuivumista on merkittävämmän edistänyt verkkokontti. Verkkokontteihin varastoitu hienohake saavutti seitsemän viikon kuivatuksen jälkeen noin 7 prosenttiyksikköä vähäisemmän kosteuden kuin lautakontissa olleet hakkeet. Ero säilyi aina siihen asti, kunnes kosteuden väheneminen pysähtyi 15—20 kuivatusviikon jälkeen.

	Ylihärä	
	Lautakontti	Verkkokontti
	Kosteus, %	
Kevään kaatotuore hienohake	17,3	15,6
Kevään kaatotuore palahake	16,5	18,6
Syksyn rasikuiva hienohake	30,1	27,4
Syksyn rasikuiva palahake	28,0	27,8

Myös kuiva-ainetappiot osoittavat verkkokontin toimineen hakkeen laadun kannalta hieman paremmin. Suurimmat erot syntivät hienohaketta kuivattaessa. Kevään kaatotuoreita hienohakkeita käytettäessä kuiva-ainetappiot ovat olleet jopa kaksinkertaisia lautakontissa verkkokonttiin verrattuna.

	Kokonaistappio		Kuukausitappio	
	Lautakontti	Verkkokontti	Lautakontti	Verkkokontti
Kevään kaatotuore hienohake	7,0	3,5	1,3	0,7
" " palahake	5,1	4,0	0,9	0,8
Syksyn rasikuiva hienohake	4,6	3,7	2,0	1,6
" " palahake	0,8	0,5	0,3	0,2

Hakkeen kosteuksien ja kuiva-aineen määrien muutokset näkyvät selvästi tehollisen lämpöarvon muutoksina. Verkkokonteissa kuivuneen hakkeen todellinen lämpöarvon lisäys on noin kaksi kertaa lautakonttien haketta suurempi. Syksyn rasikuivien hienohakkeitten lämpöarvot (MJ/i-m³) ovat tosin muista eristä poiketen pienentyneet.

	Lautakontti		Verkkokontti	
	MJ/i-m ³	%	MJ/i-m ³	%
Kevään kaatotuore hienohake	3098	+2,0	2918	+5,1
" " palahake	2898	+3,3	3185	+5,4
Syksyn rasikuiva hienohake	3318	-3,7	3418	-2,1
" " palahake	2858	+0,9	2590	+1,1

Verkkokonttien hake on kuivunut ja säilynyt jonkin verran paremmin kuin samaan aikaan lautakonteissa ollut hake. Vaikka tulokset rajoittuvat keväällä ja syksyllä tehtyihin hakkeisiin, on kuitenkin varsin luonnollista olettaa, että kesällä tehtyjen hakkeiden käyttäytyminen olisi samansuuntaista.

Vähäisen verkkokonttiaineiston perusteella on vaikeata tehdä varmoja johtopäätöksiä sen paremmuudesta lautakonttiin verrattuna. Tutkimustulosten perusteella on kuitenkin pääteltävissä palakoosta johtuvien kosteuden ja säilymiserojen menettävän merkitystään silloin kun haketta kuivataan verkkokonteissa.

44. Puulajin vaikutus

Leppä- ja koivuhakkeiden eroja on tarkasteltu ajankohdittain, kuitenkin niin että hieno- ja palahakkeiden tulokset on yhdistetty (taulukko 8). Leppähakkeiden lähtö- ja lop-

Taulukko 8. Koivu- ja leppähakkeiden kosteus-, kuiva-ainetappio- ja lämpöarvotietoja, kun hakkeen ja palahakkeen tiedot on yhdistetty.
 Table 8. Data on moisture content, dry matter losses and heat values of birch and alder when data from chips and chunks are combined.

		Kevään kaatotuore <i>Freshly comminuted in spring</i>		Kesän kaatotuore <i>Freshly comminuted in summer</i>		Haketus — Comminution Kesän rasikuiva <i>Seasoned and comminuted in summer</i>		Syksyn rasikuiva <i>Seasoned and comminuted in autumn</i>	
		Leppä <i>Alder</i>	Koivu <i>Birch</i>	Leppä <i>Alder</i>	Koivu <i>Birch</i>	Leppä <i>Alder</i>	Koivu <i>Birch</i>	Leppä <i>Alder</i>	Koivu <i>Birch</i>
		Hakkeen kosteus, % <i>Moisture content, %</i>							
Lähtö	1981	53,1	43,9	53,0	45,8	44,4	38,6	45,7	41,5
Start	1982	51,6	48,3	52,5	44,7	45,0	25,1	48,4	34,7
Loppu	1981	31,5	20,6	35,2	27,5	26,9	32,4	38,6	35,4
End	1982	25,5	19,5	30,3	25,3	25,0	21,5	38,4	29,4
		Kuiva-ainetappiot, %/kk <i>Dry matter losses, %/month</i>							
	1981	-2,0	-0,8	-0,6	-1,3	-0,4	-0,5	-0,6	+0,1
	1982	-1,7	-1,0	-1,0	-1,1	+0,2	-0,6	-0,6	-2,7
		Tehollinen lämpöarvo, MJ/i-m ³ <i>Effective heat value, MJ/m³ loose</i>							
1981	lähtö — start	2566	2811	2343	2771	2672	2979	2419	2866
	loppu — end	2594	2953	2396	2729	2707	3054	2462	3016
	muutos — change, %	+1,1	+5,1	+2,3	-1,5	+1,3	+2,5	+1,8	+5,2
1982	lähtö — start	2640	2921	2528	2830	2330	3016	2413	2969
	loppu — end	2670	3042	2552	2860	2501	3009	2515	2855
	muutos — change, %	+1,1	+4,1	+1,0	+1,1	+7,4	-0,2	+4,2	-3,9

pukosteudet olivat aina koivuhakkeiden arvoja suurempia. Koivuhakkeen lähtökosteus oli erästä riippuen noin 3—14 prosenttiyksikköä leppähaketta vähäisempi. Kokeen lopussa ero oli 2—11 kosteusprosenttia.

Leppähake kuivui rasissa huomattavasti huonommin kuin koivuhake. Tähän saattoivat olla syynä koivujen paremmat kuivatusolot, sillä Hakkilan (1962) tutkimuksessa rasissa kuivuneiden leppien ja koivujen erot olivat vain noin kaksi kosteusprosenttia. Hakkeen kuivatuksen aikana ovat rasikuivatujen leppä- ja koivuhakkeitten kosteudet hieman lähentyneet toisiaan. Kaatotuoreissa hake-erissä ei lähentymistä juuri ole.

Kuiva-ainetappiot olivat jokseenkin samat molemmilla puulajeilla, n. 1 %/kk. Arvot

vaihtelivat kuitenkin melko suuresti hake-erästä ja vuodesta riippumatta. Lepästä ja koivusta tehtyjen rasihakkeiden kuiva-ainetappiot olivat kaatotuoreita hakkeita pienemmät (taulukko 8).

Koivuhakkeen lämpöarvo on suuremman painon ja vähäisemmän kosteuden vuoksi tilavuusyksikköä kohti laskettuna leppä- ja koivuhakkeen lämpöarvoa suurempi kaikkina ajankohtina. Ero oli kokeen lopussa keskimäärin noin 14 %. Kuivan leppähakkeen lämpöarvo oli 2462—2707 MJ/i-m³ ja koivuhakkeen 2729—3054 MJ/i-m³. Puulajien väliset erot eivät siis johduneet konttikuivatukseen liittyvistä tekijöistä vaan pikemminkin puulajien sisäisistä ominaisuuksista.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen aineistoa voitaneen pitää riittävänä antamaan kuva hakkeen kuivumisesta traktorikonteissa. Esimerkiksi Gislerudin (1983), Kochin (1983) ja Aittomäen (1963) tutkimukset hakkeen kuivumisesta koostuvat huomattavasti pienemmistä ja suppeammista aineistoista. Eri vuodenaajat ja kokeiden maantieteellinen kattavuus ovat yleensä saaneet osakseen vain vähän huomiota hakkeen kuivatustutkimuksissa. Tämän tutkimuksen sijoittaminen viidelle Etelä-Suomen paikkakunnalle sekä lähes koko vuodelle ajoittuneet kokeet lisäävät tulosten luotettavuutta sekä yleistettävyyttä.

Tutkimuksessa käytetty hakkeen punnitusmenetelmä soveltui hyvin tarkoitukseensa, sillä luotettavien tietojen saanti hakkeen kosteuden muutoksista olisi ollut mahdotonta näytteitä ottamalla. Menetelmä tosin antoi hieman optimistisia kosteusarvoja kuiva-ainetappioiden vuoksi. Punnitustuloksista saatujen aikasarjojen perusteella laskettiin kuitenkin hake-erälle regressioyhtälöt. Lähtökosteuksissa esiintynyt vaihtelu paikkakuntien välillä aiheutti huomattavaa hajontaa joidenkin erien kohdalla. Hajonnan pienentämiseksi käytettiin selittävänä muuttujana hakkeen kosteuden lisäksi kosteuden vähenemistä. Näin saatiin myös selitysasteet paremmiksi.

Käytetty menetelmä osoitti, että palakoolla, kuivatuksen ajankohdalla ja kontin mallilla oli vaikutuksensa hakkeen kuivumiseen. Niiden vaikutuksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Palahakkeen tärkeimmiksi ominaisuuksiksi voidaan lukea sen hienohaketta nopeampi kuivuminen sekä suuremmat lämpöarvon lisäykset. Vuodenaajasta ja vuodesta riippuen hienohakkeen kuivuminen 20—30 % kosteuteen traktorikonteissa saattaa viedä 2—3 kertaa palahaketta kauemmin. Palakoon merkitys on suurin kaatotuoreita hakkeita käytettäessä.
- Touko-elokuun välinen aika osoittautui parhaaksi kuivatuksen ajankohdaksi. Hake voidaan kuitenkin tehdä jo aikaisemmin kevättalvella, jolloin yksi erä ehtii kuivua ennen parasta kuivatuskautta. Myöhään syksyllä olosuhteet ovat niin huonot, että kuivatuksessa päästään vain tyydyttävään tulokseen.

- Rasipuista tehty hake kuivuu kesällä muita hakkeita nopeammin vaatien vain muutaman viikon kuivatusajan. Rasimenetelmän käyttökelpoisuutta lisää se, että sitä voidaan käyttää keväästä syyskesään asti (Hakkila 1962). Rasimenetelmän lisäetuna pidettävään myös palakoon pienenevää merkitystä hakkeen kuivatuksessa.
- Rasikuivien hakkeiden kuiva-ainetappiot olivat muita hakkeita vähäisemmät. Rasikuivatuksen aikana tapahtuvan tappion mahdollisuutta ei otettu huomioon, koska on ilmeistä, että rasiakana kuiva-ainetappioita tapahtuu vain lehtien varisemisena (Simola ja Mäkelä 1976).
- Verkkokontin tärkeimpänä ominaisuutena on pidettävä palakoon merkityksen häviämistä. Tämän vuoksi saavutettu kosteus oli lähes sama molemmilla palakoilla. Myös kuivumisen kuvaajat ovat lähes identtiset. Vähäisen kosteuden ja pienten kuiva-ainetappioiden vuoksi verkkokonttien hakkeiden lämpöarvon lisäykset olivat lautakonttien hakkeita suuremmat.

Hakkuri (palakoko), puulaji ja kontin rakentamiseen saatavilla olevat materiaalit ovat yleensä olosuhteiden sanelemia. Hakepuun teon ja hakkeen kuivatuksen ajoittamiseen sen sijaan voidaan aina vaikuttaa. Koska myöhäinen syksy ja talvi eivät sovellu hakkeen kuivatukseen kontteja käytettäessä, on työt keskitettävä erityisesti kesän ajalle. Työmäärän ja kustannusten rajoittamiseksi tulee hakkeen kuivatukselle laatia aikataulu sekä valita edullisimmat menetelmät. Suositeltavana vaihtoehtona on pidettävä hakkeen kuivatuksen keskittämistä kesä-elokuun ajalle. Hake tulisi tällöin tehdä rasissa kuivuneesta puusta. Tällöin on tarvittava kuivumisaika 2—3 viikkoa yhtä konttia kohti.

Ensimmäistä rasihake-erää varten tulee puut kaataa toukokuun alussa. Noin kolmen viikon kuluttua voidaan kuivunut hake tyhjentää kontista ja hakettaa uusi erä tilalle. Mikäli tässä kolmen viikon rytmissä pysytään, voidaan yhdellä 15 i-m³:n kontilla kuivata kesä-elokuun aikana neljä erää eli 60 i-m³ haketta.

Vaikka kesä onkin paras kuivatusaika ei kuivatuksen aloittamiselle jo keväällä ennen rasiinkaatokauden alkua ole estettä. Näin menetettäessä voidaan kaatotuoreesta tai

vaikkapa pinossa varastoidusta puusta tehdä haketta jo esimerkiksi maaliskuuhun vaihteessa. Hakkeen annetaan kuivua konteissa kahden kuukauden ajan siihen asti, kunnes kesäkuussa alkaa rasissa kuivatetuista puista tehtävän hakkeen kuivatus. Hakkeen kuivuminen on tosin keväällä hidasta, eikä 30 %:n kosteutta ehkä ehditä saavuttaa. Kuivatuskautta voidaan pidentää myös syksyyn, jolloin rasipuusta tehty hake vieläkin kuivuu nopeammin kuin kaatotuore puu keväällä. Yhdistämällä siis eri vuodenaikoina tapahtu-

va rasi- ja kaatotuoreen hakkeen kuivatus voitaneen yhdessä lautakontissa kuivata noin 90 i-m³ haketta yhden kuivatuskauden aikana.

Kuivattaessa pelkästään kaatotuoretta haketta saadaan kuivaa haketta koko kuivatuskautena vain kolme erää (45 i-m³). Nämä erät jakautuvat huhti-kesäkuun, kesä-elokuun ja elo-syyskuun ajalle. Jotta kaatotuoretta haketta saataisiin kuivatuksi yhtä paljon kuin rasihaketta, on käytössä oltava siis kaksinkertainen konttimäärä.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Aittomäki, S. 1963 Tutkimuksia polttohakkeen ja pilkkeiden kuivatuksesta ulkoilman avulla. Pienpuualan Toimikunnan julkaisu 151. 38 s.
- Alestalo, A. 1982. Kuoren ja muun biopolttoaineen kuivaus aurinkoenergialla. Tutkimusloste. Diarion 235/881/80 KTM. Enso Gutzeit Oy. Julkaisematon. 44 s.
- Annergren, G., Dillen, S. & Wardheim, S. 1964. On outside storage of spruce wood chips for sulphite pulping. *Svensk Papperstidning* (67)4:125—145.
- Anttila, R. 1961. Hakkeen käyttö yleistyä maataloilla. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus 40.
- Belin, L. 1984. Allergic alviolititsfungaal spores. Teoksessa: Gislerud, 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 aspvädsflis vid Hörnefors Sulfitfabrik. 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 träslag 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.
- Energiapoliittinen ohjelma 1983. Hyväksytyt valtioneuvostossa 24.2.1983. Helsinki. 34 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.
- Gislerud, 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.
- Gustafsson, G. 1981. Grunnleggende studier av torkning og lagring av bränsleflis — Etapprapport 2. Nämnden för Energiproduktions forskning. NE/Bio-81-18.
- Haapasalo, P. 1983. Puun polttoarvo ja siihen vaikuttavat tekijät. Moniste. VAPO. Jyväskylä. 24 s.
- Hajny, G. 1966. Outside storage of pulpwood chips.

- Tappi (49) 10, 97—105.
- Hakkila, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsäsä. 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.
- Heikka, T. & Piirainen, K. 1981. Pienhakkureiden voimankäyttö. Summary: Power consumption of small chippers. *Folia Forestalia* 496. 22 s.
- Heino, R. & Hellsten, E. 1983. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961—1980. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Ilmatieteenlaitos. 560 s.
- Heiskanen, V. & Hakkila, P. 1960. Polttohakepuun kuivuminen rasissa. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus 17. 6 s.
- & Jokihäärä, L. 1961. Puupolttolaitosten lämpöarvosta. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus 33. 5 s.
- Heliövaara, T. 1960. Polttoaineen ja keskuslämmityskattilan valintaan vaikuttavista tekijöistä. Hakepuntarissa. Maaseudun Tulevaisuus 19.4.1960.
- 1961. Hakelämmitys käytäntöön sovellettuna. Koneviesti 5/1961.
- Høeg, H. 1980. Forekomst av soppsporer i forbindelse med flisfyrringsanlegg og lagring av flis. Norsk Institutt for Luftforskning. Oppdragsrapport 29. 36 s.
- 1981. Forekomst av soppsporer med flisfyrringsanlegg 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. Julkaisematon raportti. 41 s.
- Immonen, K. & Seppälä, R. 1984. Polttopuun ja palaturpeen alueittainen tuotanto, jakelu ja käyttö. SITRA. Sarja B:76. 164 s.
- Immonen, V. 1961. Hakkeen varastointia ja halkojen laatua koskevia tutkimuksia Turengein 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.
- Jokihäärä, L. 1959. Hakkeella helpompaan ja halvempaan lämmitykseen. *Maaseudun Tulevaisuus* 133.
- Kantola, M. 1961. Polttohakkeen nykykäyttö keskuslämmitysrakenteissa. Summary: The Use of Wood Chips as Fuel in Central Heating Plants. Työtehoseuran julkaisuja 93.
- Koch, P. 1983. Moisture changes in oak and hickory fuel chips on roofed and unroofed Louisiana air-drying 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, udtorning og sundhedsrisici. Skovteknisk Institut. The Danish Institute of Forest Technology. 19 s.
- Kotimaisten polttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaali. 1983. Ekono Oy. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja D:23:1—37.
- Kärkkäinen, M. 1977. Puu — sen rakenne ja ominaisuudet. Helsinki. 442 s.
- 1981. Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivatusmenetelmien perusteet. Summary: Foundations of leaf-seasoning and other drying methods of fuelwood. *Folia Forestalia* 459. 15 s.
- Lampinen, K. 1978. Hakkeen kuivaus savukaasulla. LAKA-vuosikirja. s. 35—41.
- 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-metrinen 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.
- Mihajlov, G.M. 1971. Hakkeen varastoiminen avoimissa kasoissa. Teoksessa: Koperin, F.I. et al. (toim.) Hakkeen valmistus puunkorjuutiloilla. Proizvodstvo tehnologitseskoj sepy v lespromhozah. Izd. les. prom. Moskova. s. 171—175.
- Nylinder, M. 1979. Relationstal Träbränslen — Olja. Summary: Conversion factors Fuelwood — Oil. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 110. 51 s.
- Panshin, P.J. & de Zeeuw, C. 1970. Textbook of Wood Technology. Vol. 1. McGraw-Hill Book Company. 705 s.
- Parikka, M. 1984. Värmeproduktionskostnad för skogsbränsle i jämförelse med kol. Sveriges Lantbruksuniversitet, Skoglig marknadsinriktning. Rapport 3. 78 s.
- Pellikka, M. 1983. Homepölyaltistus polttohakkeen 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 maatiloilla 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.
- Taipale, A. 1960. Tutkimuksia polttohakkeen varastoinnista. Summary: Studies of the storage of fuel chips. Pienpuualan Toimikunnan julkaisu 100. 47 s.
- 1962. Sahanhakkeen kuivuminen avokeossa ja kateissa 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. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 115. 50 s.
- 1982. Torkning av bränsleflis med solfångaruppvärmad 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.
- & Gustafsson, G. 1983. Kallluftstorkningens 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.
- & 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.

- 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 liittyvien toimenpitein. SITRA. Tutkimusraportti 35. 30 s.
- Warsta, O. 1961. Rasiin kaadetun koivun ja leppän 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 73 references

SUMMARY

Drying of fuel chips and chunks in wooden bins

Small scale drying of whole tree fuel chips was studied at the Finnish Forest Research Institute during 1981 and 1982. The effects of particle size, season, bin type and tree species were studied.

Particle sizes were divided into chips (20 mm) and chunks (50—70 mm). Chipping was done with Junkkeri HJ-6 and HJ-10, and Hakki H-200 chippers. Kopo PH-10 and PH-15 were used for chunking. All the machinery was farm tractor driven.

The experiment was carried out in four stages and on five locations during both years. The drying seasons are listed below according to the particle size. (See also Figure 6 for the drying schedule.)

- Spring chips made from freshly cut trees
- Summer chips made from freshly cut trees
- Summer chips made from leaf-seasoned trees
- Autumn chips made from leaf-seasoned trees
- Spring chunks made from freshly cut trees
- Summer chunks made from freshly cut trees
- Summer chunks made from leaf-seasoned trees
- Autumn chunks made from leaf-seasoned trees

To carry out the experiment 30 wooden bins were built. They measured 130 x 230 x 500 cm and had a volume of 15 m³ (Fig. 1—5). To enhance air circulation space was left between each lining board. Plastic roofings of various kinds were used. In 1982 two additional bins were constructed with a wire mesh lining instead of board. These bins also had an air canal in the bin (Fig. 4). All the bins were designed so that they would fit to a farm tractor trailer and met traffic regulations. A total of 74 bins (over 1000 m³ loose) of chips and chunks were dried.

To record the moisture changes in the bins a portable electronic scale was used to weigh the bins (Fig. 7). Each bin was weighed once a week. The drawback of this system was that it did not take dry matter losses into consideration. This led to slightly optimistic results over a long period. Fortunately this could be

compensated for at the end of the experiment by sampling. This approach was taken because proper moisture sampling from the bins is impossible.

On the basis of the weighing results regression equations were calculated for each particle size and season (Table 7). Locations were combined. Moisture content on green weight basis (%) was used as a dependent variable. Drying time in weeks was used as an independent variable. In addition to moisture content (%) also decrease of moisture content was used. In this case the starting moisture content was given a value of 100 and all the subsequent values are expressed as a percentage of the starting moisture content. This was done to decrease dispersion between locations and to improve coefficients. These equations are also more flexible to use as they are not tied to a specific moisture content.

In Figures 9—19 we can see that generally speaking the progress of drying was very similar, i.e. logarithmic in all the seasons both with chips and chunks. The common feature was the rapid drying during the first few weeks followed by a relatively slow drying over several weeks as the moisture content approached equilibrium state with the ambient air. On the other hand many differences also occurred.

The drying rate of chunks was found to be faster than of chips. This was most significant with freshly comminuted material where chunks dried faster by a factor of two. The differences were a lot less pronounced with material comminuted from leaf-seasoned trees. Also the final moisture contents of chunks were lower (Table 4). It should be noted, however, that the final figures are not the same as the lowest figures because of the increased moisture content during the fall.

The season of drying was found to be the most significant factor affecting drying (Fig. 21 and 22). As was expected, summer was the best season. Drying was further enhanced by using leaf-seasoned trees. It took the freshly comminuted material three times longer to

reach the moisture content of leaf-seasoned material. The difference was of the same order for both chips and chunks.

Drying is slow when started early in the spring (1982) and continues at a steady rate well into the summer. Rates do improve, however, if drying is postponed until May (1981).

The drying capacity of the bins becomes very limited in the fall. Leaf-seasoned material lost only 5 %-units of moisture over 2-3 weeks and stayed at the reached level for the rest of the experiment.

Dry matter losses were about 1,0 % per month (Table 5). It was also found that the losses of fresh material were higher than of seasoned material. The losses were also slightly higher for chips than for chunks.

The accumulative effect of drying and dry matter losses is seen on the changes of heat values (Table 6). Because of the better drying characteristics chunks had a higher net gain than the chips. However, the heat values per unit volume were of the same magnitude because of the higher bulk density of chips.

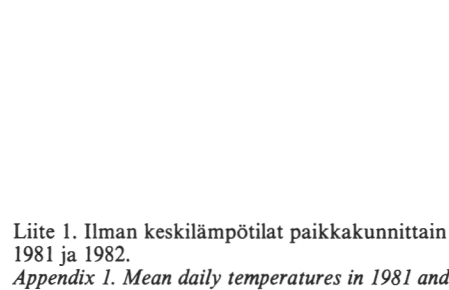
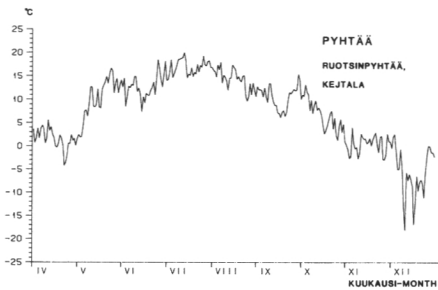
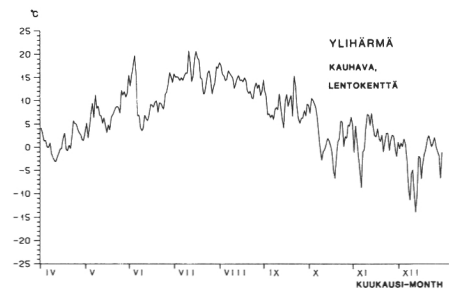
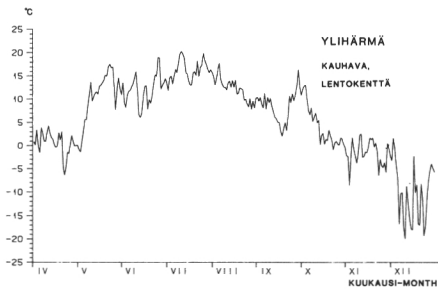
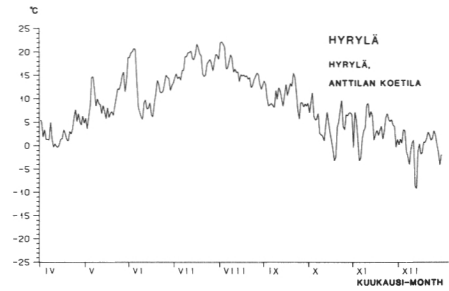
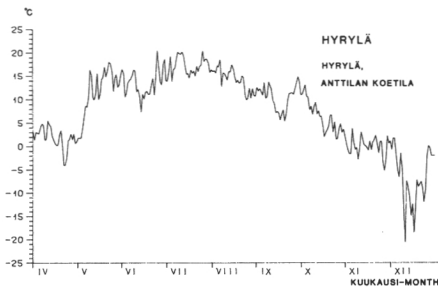
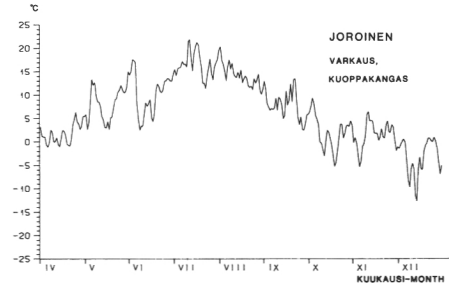
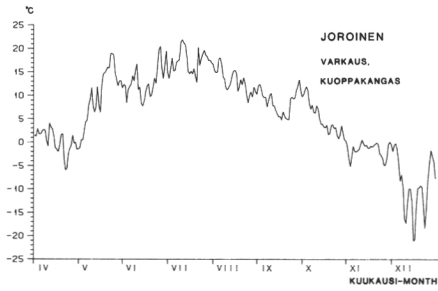
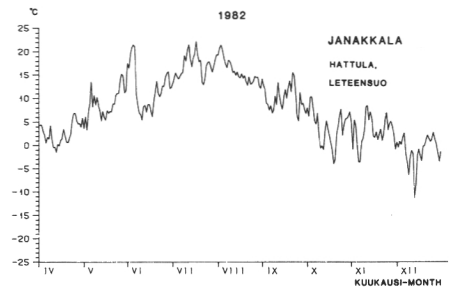
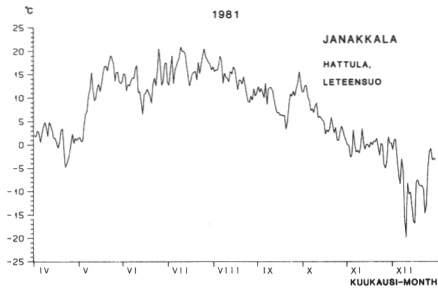
The wire mesh bins turned out to be equal to or better than the wooden bins. The major difference between the bin types was that with the wire mesh bin the particle size seemed to lose its importance. The chips and chunks also reached a lower moisture content

in these bins and had a higher net gain of heat value. Dry matter losses were also lower.

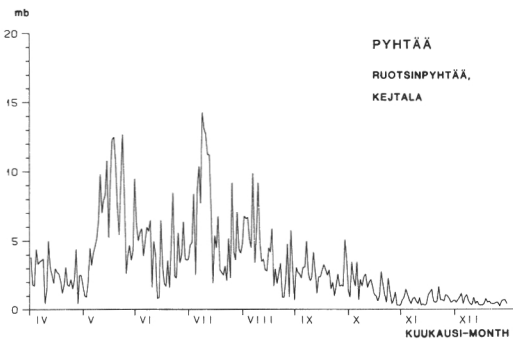
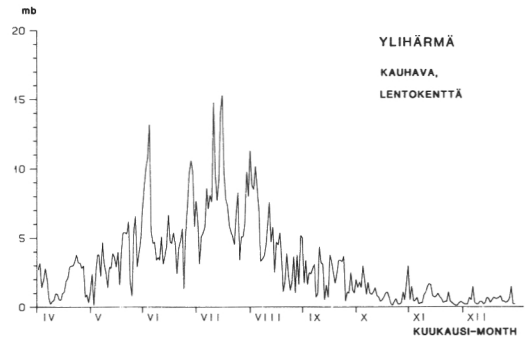
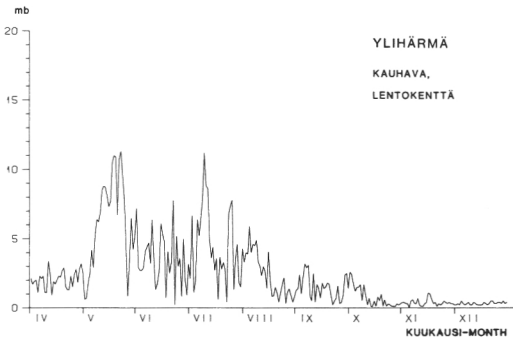
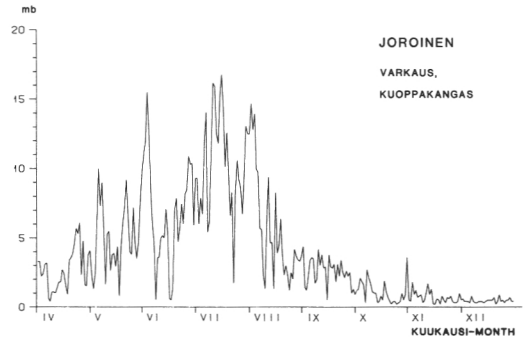
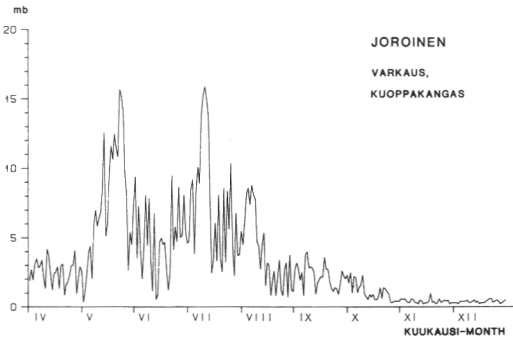
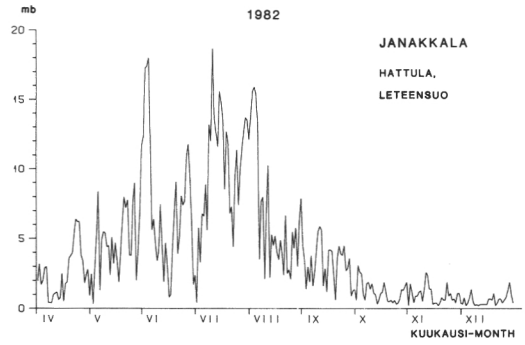
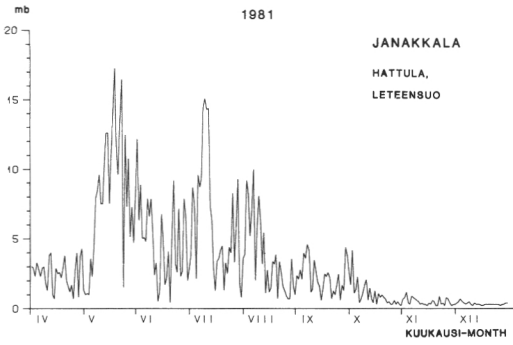
No major differences were found between alder and birch. Nevertheless, it should be noted that the starting and final moisture contents of birch were always lower. Most often the difference maintained its magnitude until the end of the experiment. Dry matter losses were of the same magnitude but not consistent. Because of the higher basic density and lower moisture content the heat values (MJ/m³ loose) of birch chips and chunks were always greater than the heat values of alder. At the end of the experiment the difference was about 14 % on average.

Drying was extended to several months in the study. In practice, however, the drying time should be optimized so that a maximum amount of chips or chunks can be dried per season.

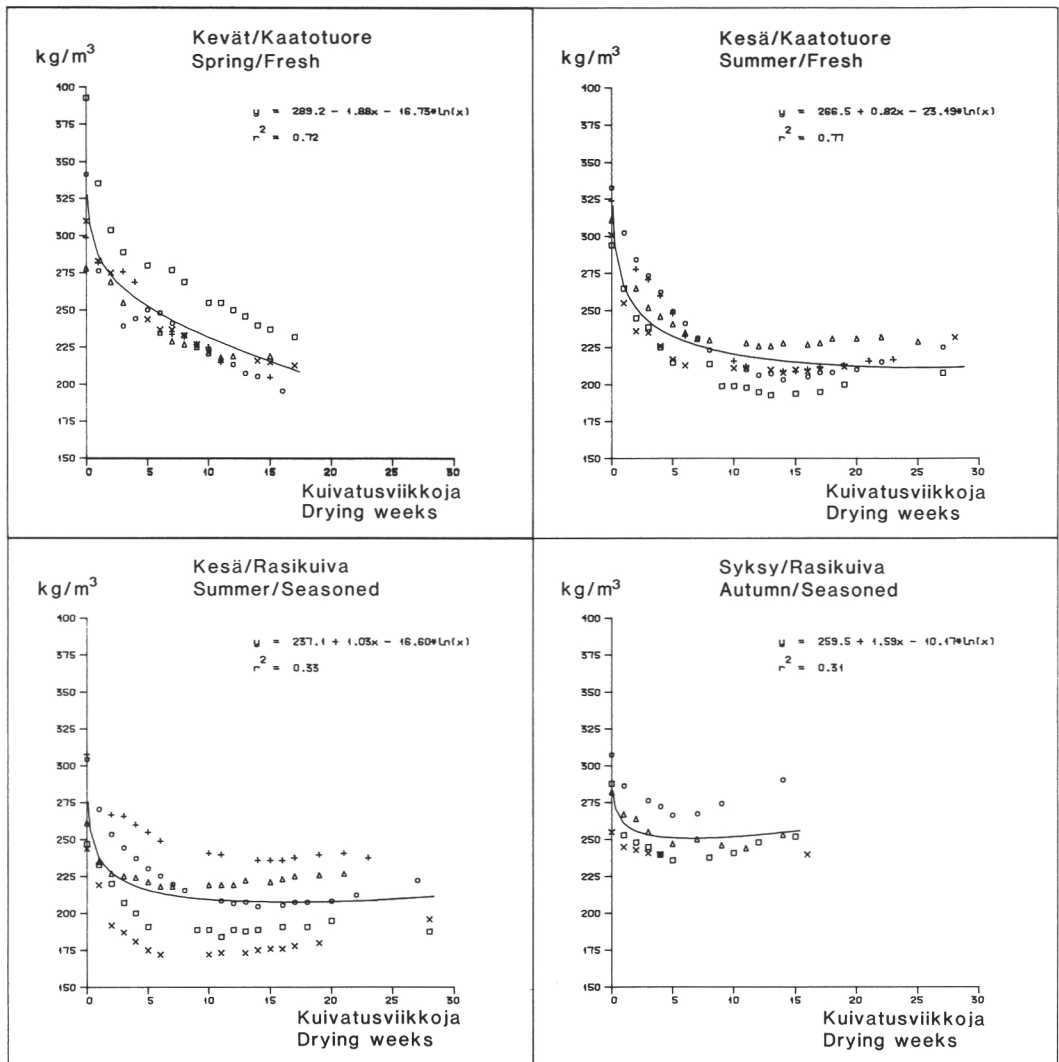
Drying of chips and chunks made of fresh material in spring will take 10-15 weeks. If comminution is done in summer the corresponding time is 5-10 weeks. Leaf-seasoned material will take about 5 weeks. Hence, if drying is optimized we can dry about 90 m³ of chips or chunks per year in one bin. This is possible by drying one batch of fresh material in the spring, four batches of seasoned material in the summer and one batch of seasoned material in the fall.



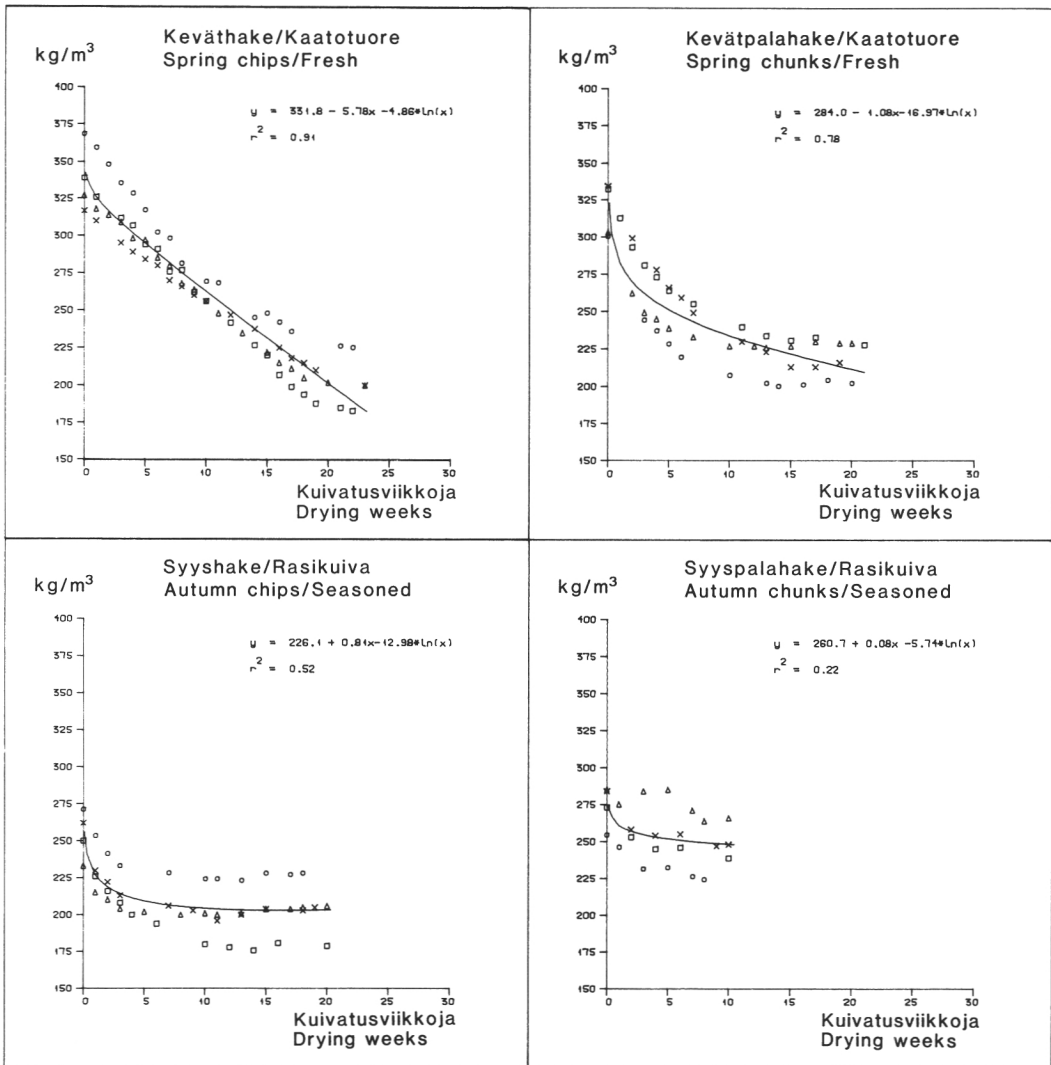
Liite 1. Ilman keskilämpötilat paikkakunnittain vuosina 1981 ja 1982.
Appendix 1. Mean daily temperatures in 1981 and 1982.



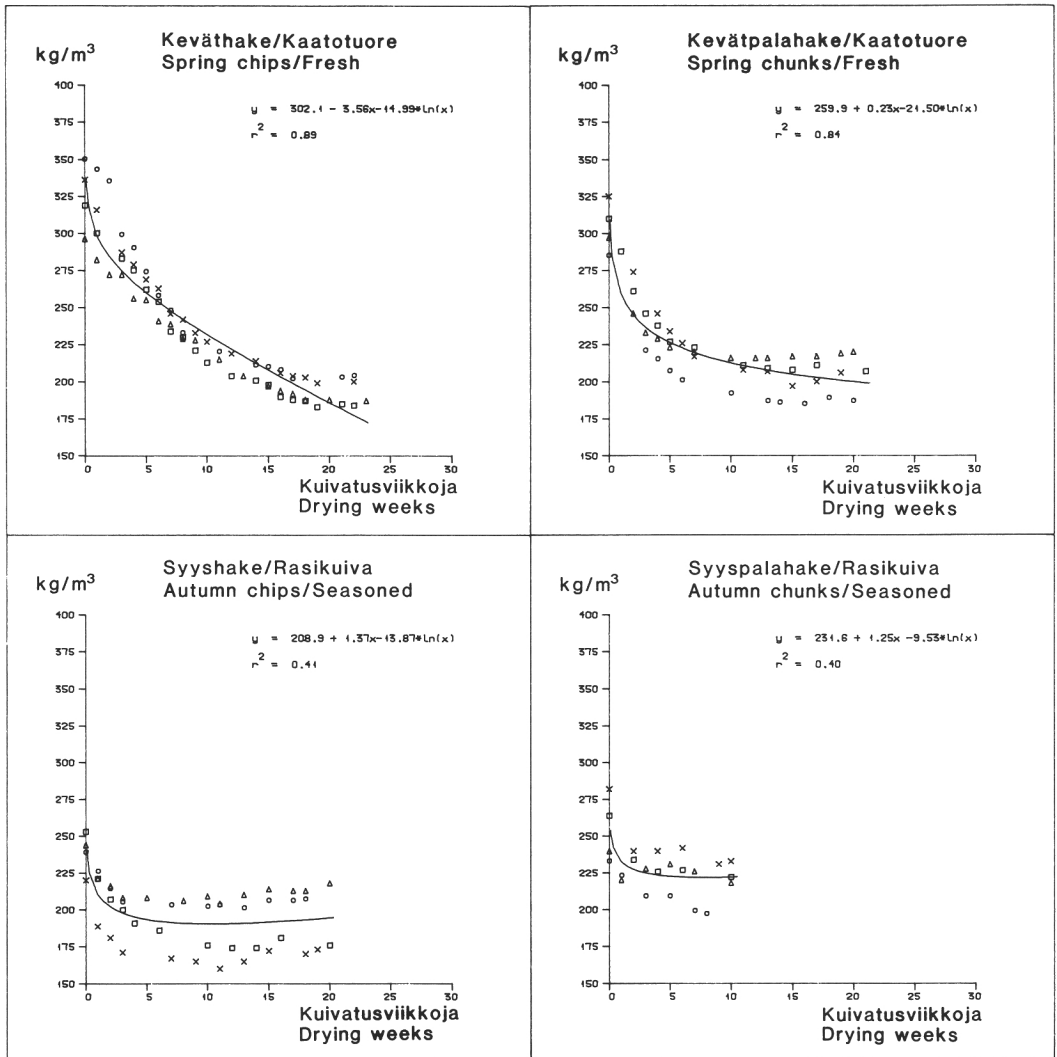
Liite 2. Ilman kyllästysvajaukset paikkakunnittain vuosina 1981 ja 1982.
Appendix 2. Vapor pressure deficit of ambient air in 1981 and 1982.



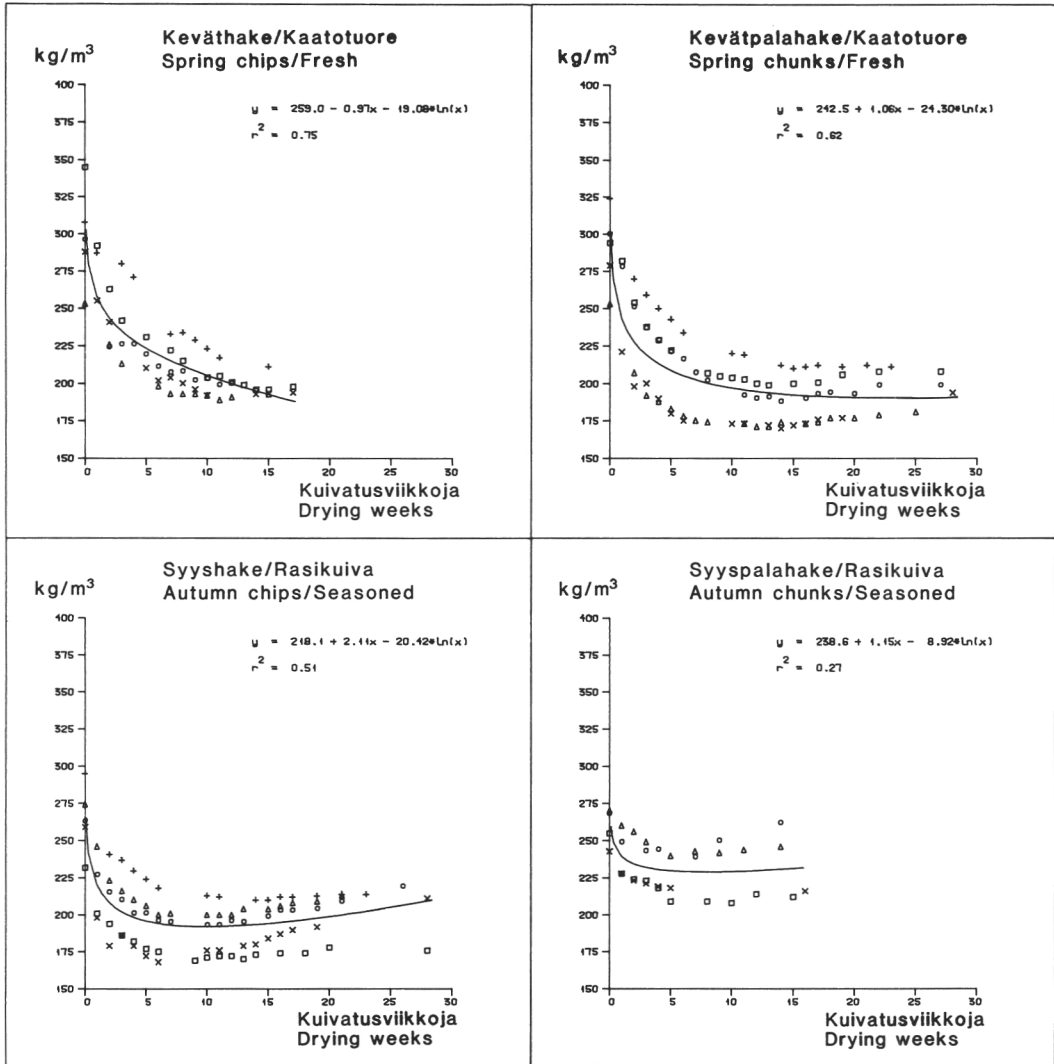
Liite 3. Hienohakkeiden painon muuttuminen vuonna 1981.
 Appendix 3. Bulk densities of chips as a function of drying time in 1981.



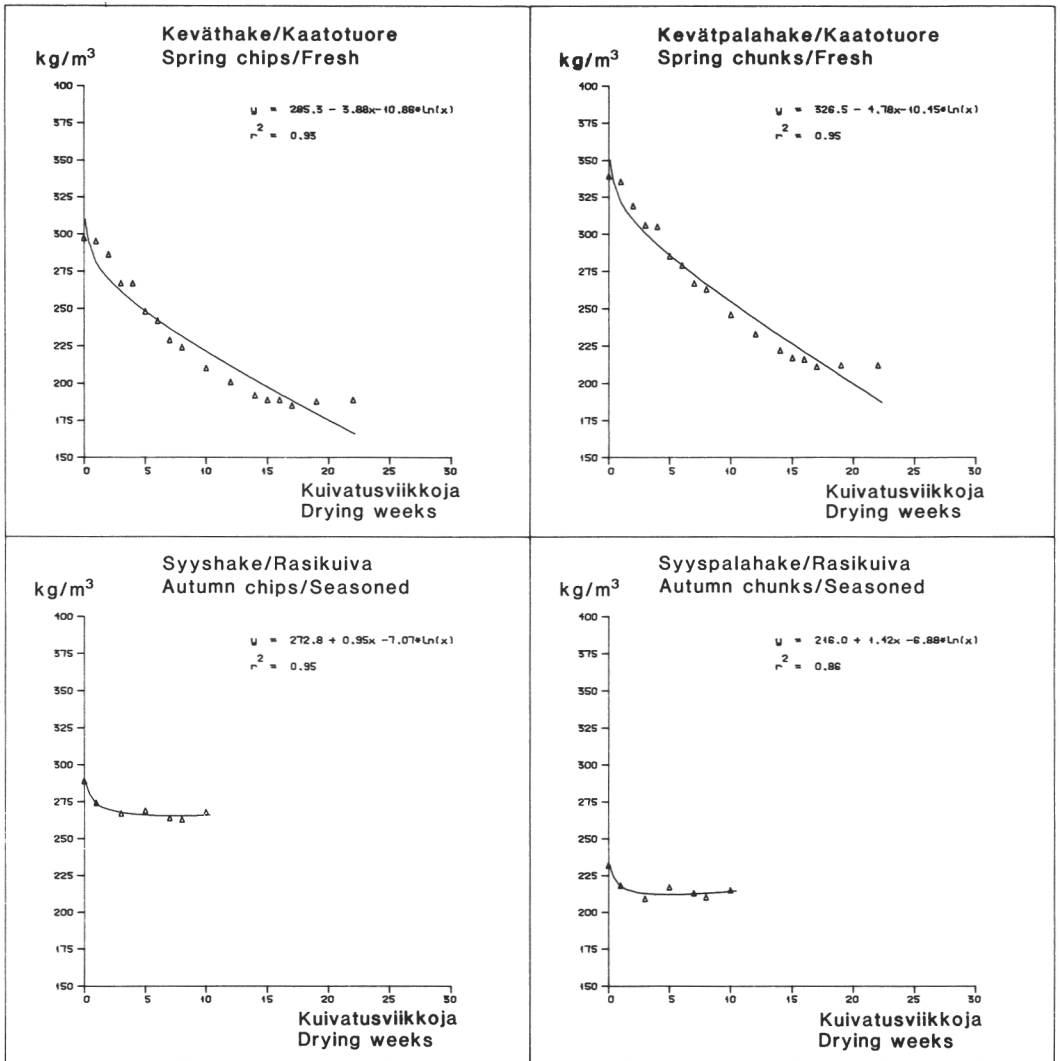
Liite 4. Hienohakkeiden painon muuttuminen vuonna 1982.
 Appendix 4. Bulk densities of chips as a function of drying time in 1982.



Liite 5. Palahakkeiden painon muuttuminen vuonna 1981.
 Appendix 5. Bulk densities of chunks as a function of drying time in 1981.



Liite 6. Palahakkeiden painon muuttuminen vuonna 1982.
Appendix 6. Bulk densities of chunks as a function of drying time in 1982.



Liite 7. Verkkokonteissa kuivattujen hieno- ja palahakkeiden painon muuttuminen vuonna 1982.
Appendix 7. Bulk densities of chips and chunks dried in wire mesh bins as a function of time in 1982.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

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

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

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

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

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

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

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

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

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

- No 667 Lipas, Erkki: Maan ravinnetila siemenviljelyksillä.
Soil fertility levels in Finnish seed orchards.
- No 668 Uusvaara, Olli: Sahanhakkeen painomittaus.
Weight scaling of sawmill chips.
- No 669 Kortesharju, Jouko & Mäkinen, Yrjö: Vaotuksen, lannoituksen ja katteiden vaikutus hillaan karuilla luonnon-tilaisilla soilla.
The effect of furrowing, fertilization, and mulching on cloudberry (*Rubus chamaemorus*) on virgin oligotrophic mires.
- No 670 Jäppinen, Jukka-Pekka, Hotanen, Juha-Pekka & Salo, Kauko: Marja- ja sienisadot ja niiden suhde metsikkö-tunnuksiin mustikka- ja puolukkatyyppin kankailla Ilomantsissa vuosina 1982—1984.
Yields of wild berries and larger fungi and their relationship to stand characteristics on MT and VT-type mineral soil sites in Ilomantsi, eastern Finland, 1982—1984.
- No 671 Parviainen, Jari & Antola, Jukka: Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa männynistutuksissa.
The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock plantations.
- No 672 Onttinen, Sirpa: Metsurin työvälinekustannukset 1985.
Forest workers' equipment costs in Finland in 1985.
- No 673 Gustavsen, Hans Gustav & Päivänen, Juhani: Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa.
Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland.
- No 674 Mikkola, Kari & Sepponen, Pentti: Kasvupaikkatekijöiden ja kasvillisuuden suhteet Luoteis-Enontekiön tunturikoivikoissa.
Relationships between site factors and vegetation in mountain birch stands in northwestern Enontekiö.
- No 675 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1984—1986.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1984—1986.
- No 676 Keskitalo, Pentti & Sepponen, Pentti: Erialaisten moreenimuotojen kasvupaikkaominaisuuksia Pohjois-Suomessa.
The site properties of different types of moraine formation in northern Finland.
- No 677 Metsäntutkimuslaitoksen päätös havupuutukkien, lehtipuutukkien, mäntypylväiden ja ratapölkkyaihioiden mittaussessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista 14. päivänä kesäkuuta 1985 annetun päätöksen muuttamisesta.
Skogsforskningsinstitutets beslut om förändring av beslutet från den 14 juni 1985 om de enhetsvolumtal, som används vid mätning av barrtimmer, lövtimmer, tallstolpar och sliperstimmer.
- No 678 Isomäki, Antti: Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen.
Effects of line corridors on the development of edge trees.
- No 679 Peltonen, Antti: Metsien uudistaminen turvemaiden kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.
Forest regeneration on peatlands in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from inventories in 1978—1979.
- No 680 Naskali, Arto: Keskittymisindeksit ja ostajien keskittyminen Pohjois-Suomen raakapuumarkkinoilla.
Concentration indices and buyer concentration in the roundwood markets in Northern Finland.
- 1987
- No 681 Kaunisto, Seppo: Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla.
Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas.
- No 682 Voipio, Raili: Puiden biomassan vitamiinipitoisuus.
Vitamin content of tree biomass.
- No 683 Uusvaara, Olli & Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia.
Solid content and other technical properties of forest chips.
- No 684 Rikkonen, Pentti: Havutukkien kuorelliseen latvaläpimittaan perustuva tilavuuden määrittäminen.
Volume of coniferous saw logs based on top diameter over bark.
- No 685 Huuri, Olavi, Lähde, Erkki & Huuri, Leena: Tiheyden vaikutus nuoren istutusmännikön laatuun ja tuotokseen.
Effect of stand density on the quality and yield of young Scots pine plantations.
- No 686 Valtanen, Jukka & Engberg, Mikael: Vuosina 1970—72 perustetun aurasalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla.
The results from Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970—72.
- No 687 Nurmi, Juha: Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa.
Drying of fuel chips and chunks in wooden bins.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341

ISBN 951-40-0780-8
ISSN 0015-5543