

FOLIA FORESTALIA 599

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

OLLI UUSVAARA

HAKEPUUN KOSTEUDEN ALENTAMINEN
ENNEN HAKETUSTA KORJUUSEEN
JA VARASTOINTIIN LIITTYVIN
TOIMENPITEIN

DECREASING THE MOISTURE CONTENT OF
CHIP WOOD BEFORE CHIPPING;
HARVESTING AND STORAGE MEASURES



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

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

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

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

FOLIA FORESTALIA 599

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Olli Uusvaara

HAKEPUUN KOSTEUDEN ALENTAMINEN ENNEN HAKETUSTA
KORJUUSEEN JA VARASTOINTIIN LIITTYVIN TOIMENPITEIN

Decreasing the moisture content of chip wood before chipping;
harvesting and storage measures

Approved on 12. 10. 1984

UUSVAARA, O. 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Abstract: Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures. *Folia For.* 599:1—31.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kokopuuraaka-aineen korjuuketjuun liittyvän hakepuun ja metsähakkeen käsittelyn vaikutus hakkeen kosteuteen sekä irtokuution massaan. Lisäksi kokeiltiin pinojen kattamisen vaikutusta hakkeen kosteuteen sekä eri katemateriaalien soveltuvuutta pinojen peittämiseen.

Tutkimuksen aineisto käsitti Savonlinnan, Mikkelin, Oulun ja Kajaanin alueilla yhteensä 24 hakepuun hankintaleimikkoa, joista tehtiin 41 koepinoa. Kasoista valmistettu hake punnittiin, kuorman tilavuus mitattiin ja 120 autokuormasta tehtiin kuiva-ainemääritys.

Kourakasoille kootun hakepuun kosteus laski useimmissa koe-erissä alle 40 %:n jo kahden viikon maastokuivatuksen jälkeen. Hakepuun keskimääräinen kosteus oli kesäkauden jälkeen $39,1 \pm 8,0$ % tavallisissa pinoissa ja $36,1 \pm 7,6$ % katetuissa vertailupinoissa.

Eri paikkakuntien välillä todettiin hakkeen tiivyydessä merkittäviä eroja, jotka johtuivat etupäässä käytetystä hakkurista ja hakkeen ominaisuuksista. Puhataan, kokopuista tehdyn leppähakkeen, leppä-koivu sekahakkeen, sekä koivupinotavarahakkeen massat tuoreena, olivat keskimäärin 282, 270 ja 298 kg/m³ irtotilavuutta sekä kuivana 171, 173 ja 186 kg/m³ irtotilavuutta. Tutkimuksessa saadut lepän, männyn, pinotavarakoivun ja harvennuskoivun kiintotilavuusprosentit olivat 47,0, 42,8, 39,6 ja 38,1 %-yksikköä.

Pinojen peittämisessä kokeilluista useampivuotiseen käyttöön tarkoitetuista kuormapeitteistä, muovikelmuista ja kestopapereista ohuet muov- ja paperikatteen kestivät tuulta heikoimmin. Kuormapeitteillä kattamisen kustannukset olivat 2,3 — 3,0 mk sekä papereilla ja kelmuilla 1,5 — 2,5 mk koekasoista laskettua hakeirtokuutiota kohti.

The purpose of the study was to determine the effect of chip wood, which is a part of the whole-tree raw material harvesting chain, and of the processing of forest chips, on the moisture and piled volume weight of the chips. In addition, the effects of covering the piles on the moisture content of the chips were studied, as well as the usefulness of various covering materials.

The study material consisted of a total of 24 delivery stands marked for cutting, in the Savonlinna, Mikkelin, Oulu, and Kajaani areas. 41 test piles were made. Chips made from the bunches were weighed, the volume of the load was measured, and the dry-matter content determined.

The moisture content of chip wood piled into grapple heaps was reduced to under 40 % after only two weeks of terrain drying. The average moisture content of the chip wood after the summer period was $39,1 \pm 8,0$ % in ordinary piles and $36,1 \pm 7,6$ % in the comparable covered piles.

There were great regional differences in chip density. These were due mainly to the type of chipper used and the properties of the chips. The loose volume weights of pure alder chips made of whole wood, of mixtures of alder and birch chips, and of birch piled wood were 282, 270, and 298 kg/loose cu.m on average, and the dry weights 171, 173, and 186 kg/loose cu.m. The solid volume percentages for alder, pine, piled birch and thinning birch were 47,0, 42,8, 39,6, and 38,1.

Load cover materials designed for use over several years, plastic sheets, and paper covers were tested. Thin plastic and paper coverings were least resistant to wind. The costs for covering were 2,3 — 3,0 marks with load covers, and 1,5 — 2,5 marks with papers and plastic sheets per loose chip cubic metre of the test piles.

ODC 323.81+831.1
ISBN 951-40-0673-9
ISSN 0015-5543

Helsinki 1984, Valtion painatuskeskus

SISÄLLYS

KÄSITTEET JA SYMBOLIT	4
1. JOHDANTO	5
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	8
21. Tutkimusmenetelmä	8
22. Tutkimusaineisto	8
3. HAKKEEN KOSTEUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	11
31. Leimikkokohtaiset tekijät	11
32. Pinokohtaiset tekijät	12
4. HAKKEEN IRTOTILAVUUSYKSIKÖN MASSA JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
41. Leimikkokohtaiset tekijät	14
42. Pinokohtaiset tekijät	15
5. HAKKEEN TIIVIYS	17
6. PINOJEN KATTAMINEN	19
61. Katemateriaalit ja niiden käsittely	19
62. Peittämiskustannukset hankintaketjun osana	24
63. Peittämisen hyödyt	25
7. TULOSTEN TARKASTELU	25
8. TULOSTEN TARKKUUS JA LUOTETTAVUUS	27
9. TIIVISTELMÄ	28
KIRJALLISUUS	29
LIITE	31

KÄSITTEET JA SYMBOLIT — SYMBOLS

m^3	kiintotilavuus, m^3 — <i>solid volume m^3</i>	m^3	kokopuu — <i>whole tree</i>
$i\text{-}m^3$	irtotilavuus, m^3 — <i>loose volume m^3</i>		kantoleikkauksen yläpuolelle jäävä puun osa <i>portion of tree above the cut surface of the stump</i>
$p\text{-}m^3$	pinon irtotilavuus, m^3 — <i>loose volume m^3 of stack</i>		kokopuuhake — <i>whole tree chips</i> kokopuuraaka-aineesta tehty hake <i>chips made from whole tree raw material</i>
kk	kuukausi — <i>month</i>		biomassa — <i>biomass</i> puun kaikki osat; runko, viheraine, juuret <i>all parts of the tree; stem, foliage, roots</i>
vk	viikko — <i>week</i>		viheraine — <i>foliage</i> puiden lehdet ja neulaset <i>leaves and needles of trees</i>
MJ	megajoule, lämpöarvon yksikkö megajoule, <i>heat value unit</i>		hakkuutähde — <i>logging residue</i> korjuussa metsään käyttämättömäksi jäävät oksat, latvukset, ainespuu ja raivauspuu <i>branches, tops, industrial wood and clearing wood, left in the woods after harvesting</i>
\bar{x}	keskiarvo— <i>average value</i>		lämpöarvo — <i>heat value</i> polttoaineen tehollinen lämpöarvo tarkastelukoosteudessa <i>effective heat value of fuel at test moisture</i>
\bar{y}	keskiarvo— <i>average value</i>		kehysmittaus — <i>frame measurement</i> pinon tilavuuden mittausta sen ulottuvuuksien perusteella <i>measurement of a stack by its dimensions</i>
s	keskihajonta— <i>mean distribution</i>		rasikuivatus — <i>leaf seasoning</i> kaadetun puuston kuivatus oksineen, neulasineen tai lehtineen levällään tai pienillä kasoilla (kourakasoilla) <i>drying of felled trees with branches, needles, or leaves, either spread out or in small piles (grapp heaps)</i>
r	korrelaatiokerroin — <i>correlation coefficient</i>		roiskekarsinta — <i>"splash limbing"</i> oksien ylimalkainen karsinta kourakasan sivuilta ja puiden latvuksien katkaisu <i>roughly delimiting branches from sides of grapp heaps, cutting off tops</i>
n	lukumäärä — <i>number (amount)</i>		painuma (hakkeella) — <i>settling (of chips)</i> hakekuorman pinnan aleneminen kuljetuksen aikana <i>surface level drop of a chip load during transport</i>
$d_{1,3}$	puun läpimitta rinnankorkeudella <i>diameter of tree at breast height</i>		
kosteus	— <i>moisture</i> aineen sisältämä vesimäärä joko kosteaa tai kuivaa ainetta kohti <i>amount of water in either green or dry substance</i>		
kosteusprosentti	— <i>moisture content of green weight, %</i> veden massaosuus prosentteina kuiva-aineen ja veden yhteismassasta <i>weight of water in % of the total weight of dry substance and water</i>		
kosteussuhde	— <i>moisture content of dry weight, %</i> veden massaosuus prosentteina kuiva-aineen massasta <i>weight of water in % of dry weight of substance</i>		
tiiviyys (kiintotilavuussuhde)	— <i>density (solid volume ratio)</i> irtotilavuusyksikön ja kiintotilavuusyksikön kuivamassojen suhde ($m^3/i\text{-}m^3$) <i>ratio between loose volume unit and solid volume unit ($m^3/loose m^3$)</i>		
kiintotilavuusprosentti	— <i>solid volume %</i> kiintotilavuusyksikön kuivamassa prosentteina irtotilavuudesta <i>dry weight of solid volume unit as % of loose volume</i>		
kuiva-tuoretiheys	— <i>basic density</i> kiintotilavuusyksikön kuiva massa <i>dry weight of solid volume unit</i>		
irtokuution massa	— <i>loose volume weight</i> massa irtotilavuusyksikköä kohti <i>weight per loose volume unit</i>		

1. JOHDANTO

Polttoaineen lämpöarvoon vaikuttavat sen palavan osan kemiallinen koostumus sekä palamattoman tuhkan ja veden määrä. Puuta polttoaineena käyttävän lämpölaitoksen raaka-aineesta saama energiahyöty riippuu suoraan puun kuivasta massasta (painosta) eli kuiva-ainepainosta ja kosteudesta. Lisäksi hyötysuhde on yleensä sitä helpommin hallittavissa, mitä alhaisempi ja tasaisempi kosteus on. Haketta on mahdollista polttaa menestyksellisesti vähintään 45 %:n kosteuteen asti, kunhan polttolaitteet valitaan oikein (Siltanen 1983). Kokemusten perusteella ei märän hakkeen poltto kuitenkaan kannata. Märän hakkeen haittoja ovat myös sen jäätyminen, holvautuminen varastosiilossa sekä homepölyhaitat erityisesti maatalo- ja pientalokäytössä.

Polttoaineeksi käytettävän puun lämpöarvoa voidaan kohottaa monin keinoin. Hakkeen lämpöarvoon voidaan vaikuttaa mm. puulajin valinnalla ja hinnoittelulla, kuiva-ainetappioiden eliminoimisella, hakkeen tiheyden ja palakoon parantamisella sekä hakepuun kuivattamisella (Hakkila ja Kalaja 1983). Käytännön hakepuun hankinnassa kosteustason ja kosteuden vaihteluita voidaan pienentää käsittelemällä hakepuuta tai haketta korjuuketjun eri vaiheissa. Hake on teknisesti mahdollista kuivata myös aumoissa tai siiloissa tuulen ja auringon avulla.

Käytännössä puun kosteuden alentaminen käy parhaiten ajoittamalla lämpöenergiaksi tarkoitettun puuston kaatoaika oikein sekä kuivattamalla hakepuuta riittävän kauan maastossa joko rasissa tai kourakasoissa (Hakkila 1984). Puuston viheraineen varisemisen ansiosta paranee tällöin myös biomassan rakenne.

Polttohakkeen perushinta ja sen laskentaperusteet sekä hintaporrastus vaihtelevat melko paljon käyttökohteen mukaan. Hinta on yleensä sovittu puulle, jonka kosteus on 30 — 35 tai alle 35 — 40 %. Kosteuden lisäksi hintaan saattavat vaikuttaa myös puulaji tai hakekuutiometrin (m³) kuivamassa. Kosteuden sijasta voidaan hinnoittelu perustaa myös hakkeen irtotilavuusyksikön (m³ irtotilavuutta) lämpöarvoon (Hakkila ja Kalaja 1983).

Hakkeen käyttöarvon ja käyttömäärien kannalta on tärkeää tuntea sen kosteus ja mittaustekniset ominaisuudet. Niitä ovat meillä selvitellet toistaiseksi laajimmin Kanninen ym. (1979). Polttohakekasojen kuivumis- ja säilymiskokeita ovat tehneet mm. Bergman (1973), Björklund (1983), Thörnqvist (1983a), energiapajun Heino (1982) ja Thörnqvist (1982) sekä hakkuutähteiden Mäkelä (1977) ja Thörnqvist (1983b). Korjuututkimusten yhteydessä on myös tehty kyseisestä aihepiiristä eräitä suppeahkoja selvityksiä (Hakkila ym. 1975, Mäkelä 1975, Hakkila ym. 1977, Simola ja Mäkelä 1976). Polttohakepuun kuivumista rasissa ja metsävarastoissa ovat tutkineet Hakkila (1962, 1963), Thörnqvist (1979) sekä hakkeena tuulen ja auringon avulla Rajala (1980), Nurmi (1982 ja 1984) ja Kanninen (1980).

SITRAssa on julkaistu laaja loppuraportti projektista ”Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden alueellisen hyväksikäytön kehittäminen”, jossa esitetään tiivistäen myös metsähakkeen tuotanto, hankintaketjut ja ominaisuudet sekä niihin vaikuttavat tekijät (Immonen ja Seppälä 1984).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää polttoon tarkoitettun kokopuuraaka-aineen korjuuketjuun liittyvän hakepuun käsittelyn vaikutus kokopuuhakkeen kosteuteen ja irtokuution massaan. Lisäksi kokeillaan mahdollisuutta alentaa aktiivisesti hakkeen kosteutta varastopinoja kattamalla ja tutkitaan eri katemateriaalien soveltuvuutta ja peittämisskustannuksia.

Tutkimuksen aineiston keruun teki mahdolliseksi Osouskunta Metsäliiton sekä Vapo Oy:n antama monipuolinen apu. Tutkimuksen käytännön järjestelyistä sekä aineiston keruusta vastasi Erkki Salo työryhmineen. Aineiston atk-laskennan hoiti Hannu Aaltio, laboratoriotyöt Kaarina Klemetti, aineiston muokkauksen Juhon Uusvaara ja tekstinkäsittelyt ja teknisen muokkauksen Aune Rytönen, Pirkko Kinanen ja Raija Siekkinen.

Tutkimusta valvoi SITRAn puolesta Kari Immonen.

Käsitteilytutkimuksen lukivat professorit Pentti Hakkila ja Jouko Hämäläinen. Kaikille tutkimukseen osallistuneille esitän parhaat kiitokseni.



Leppäkokopuuta kourakasoilla palstatiin varressa.



Harventamatonta koivukokopuuleimikkoa.



Hakkuri TT 1000 TS



Hakkuri Erjo 120—HV—900

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmä

Tutkimus tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen sekä Met-säliiton Savonlinnan, Mikkelin ja Oulun sekä Vapon Kajaanin hankintapiirien yhteistyönä. Kokopuuhakkeen toimittajat kirjjasivat kustakin hankintaleimikosta tarpeelliset raaka-aineen ominaisuuksia ja korjuuvaiheita koskevat tiedot leimikkokorteille (liite 1) yhteisesti laaditun suunnitelman pohjalta. Hakepuusto kaadettiin etupäässä keväällä ja kuivatettiin hakkuupalstoilla, ajourien varrelle kootuissa kourakasoissa. Kunkin leimikon puustosta tehtiin koepinoja sitä mukaa kuin polttohakepuu ajettiin metsästä välivarastoihin normaalin työjärjestyksen mukaisesti. Ajoa ja koepinojen tekoa jatkettiin läpi kesän talven tuloon asti. Kutakin pinoa koskevat mittaus- ym. erityistiedot merkittiin pinokortille (liite 1).

Tutkimuksen kannalta tarkoituksenmukaisimmat leimikot sekä pinot valittiin Savonlinnan, Mikkelin ja Oulun alueilla kaikkien piiriin kuuluvien leimikoiden ja pinojen joukosta. Pinojen valinnassa kiinnitettiin huomiota leimikkotietojen luotettavuuteen, pinojen sijaantiin ja todennäköiseen haketusajkaan, pinojen kokoon sekä kustakin leimikosta tulevien pinojen lukumäärään. Kunkin pino mitattiin kehysmittauksella aiemmissa tutkimuksissa käytettyyn menetelmän mukaan (Kanninen ym. 1979), ja pinoihin kiinnitettiin säänkestävä tunnus, joka ilmaisi paikkakunnan, leimikon ja pinon numeron.

Koepinot hakettiin syksyn ja talven aikana siinä järjestyksessä ja laajuudessa kuin hakkeen toimittajan ja käyttäjän tarpeet vaativat. Haketuksissa käytetty hakuri oli Savonlinnassa ja Oulussa TT 1000 TS, Mikkelissä Erjo 120-HV-900 sekä Kajaanissa Karhula 312 C. Koepinoista valmistetusta hakkeesta pyrittiin ottamaan kaksi hakekuormaa pinoa kohti. Kuormista pyrittiin punnitsemaan ja mittaamaan hakemäärä kuljetuksen jälkeen lavan mittojen mukaisena tilavuutena. Ajoneuvot punnittiin myös tyhjinä. Savonlinnan alueella selvitettiin lisäksi kuljetuksen aiheuttamaa kuorman painumaa mittaamalla kuormien tilavuus vielä metsävarastolla ennen kuljetusta.

Osittain lauhan talven vuoksi hakkeen käyttömäärät jäivät lämpölaitoksilla vuonna 1983 suunniteltua vähäisemmiksi. Tästä syystä huomattava osa hankitusta kokopuusta ja koepinoista jäi käyttämättä, jolloin tutkimusta varten suunniteltu aineisto oli vaarassa huomattavasti supistua. Tarvittavan aineiston varmistamiseksi turvauduttiin aineiston keruun loppuvaiheessa, keväällä 1983, osittain poikkeukselliseen menettelyyn, jossa hakettamatta jääneistä pinoista otettiin kosteusnäytteet pelkästään tutkimusta varten. Tässä keräilyhaketuksessa hakuri siirtyi tehdyn suunnitelman mukaisesti koepinolta toiselle ja haketti kustakin pinosta 1 — 3 i-m³ haketta siten, että pinon eri kerrokset tulivat tasapuolisesti edustetuiksi. Hakkeen purkauksessa kuljetuskonttiin hakevirrasta otettiin vähintään kaksi kosteusnäytettä. Näin tutkituista pinoista saadusta hakkeesta ei voitu tutkia muita hakkeen ominaisuuksia.

Keräilyhaketuksen kohteena oli 11 koepinoja, joista otettiin yhteensä 26 kosteusnäytettä.

Normaaleihin haketoimituksiin kuuluvista kuormista otettiin kuorman purkamisen edistyessä kymmenestä

2 dm³:n erästä koostuva 20 dm³:n hakkeen kosteusnäyte, joka sekoitettiin huolellisesti tilavassa astiassa. Näin homogenoitusta materiaalista otettiin 2 litraa haketta lopulliseksi näytteeksi, joka suljettiin tarpeellisin tunnuksin merkittyyn tiiviiseen muovipussiin. Tutkimuksen eri työvaiheet esitetään kuvassa 1.

Muista paikkakunnista poiketen Kajaanin alueen puusto oli pinotavarakoivua, joka oli valmistettu tammikuussa ja ajettu tienvarsipinoihin keväällä. Puutavara ajettiin syksyllä yhteisen terminaalin, jossa se hakettiin marras-, joului- ja tammikuun aikana.

Kuivumiseen liittyvänä erikoistyönä selvitettiin kokopuukasojen peittämisen vaikutusta hakkeen kosteuteen, pinojen kattamistekniikkaa, eri materiaalien kestävyyttä ja käytön taloudellisuutta. Katettavat pinot valittiin siten, että käytettävissä oli samaa materiaalia oleva vertailupino, tai isokokoisien pinon toinen osa voitiin peittää. Toisaalta pinojen valintaperuste oli, että katetut pinot joutuisivat käyttöön talvikauden eri aikoina. Katemateriaalit ja niiden käsittely esitetään sivulta 19 alkaen.

Puutavaran kuivuminen rasissa tai kasoissa riippuu ratkaisevasti sääoloista. Kuvassa 2 esitetään tutkimuspaikkakuntien lämpötila, sademäärä ja lumen syvyys kuukausittain ilmatieteen laitoksen sääasemien keräämien tietojen perusteella. Savonlinnassa ja Mikkelissä on käytetty yhteisiä, Mikkelin aseman keräämiä havain-toja.

22. Tutkimusaineisto

Hakepuusto kaadettiin huhti-elokuussa, pääasiassa kuitenkin keväällä. Toukokuun loppuun mennessä puustosta oli kaadettu Savonlinnassa 40, Mikkelissä 85 ja Oulussa 100 %. Kourakasojen kuivumisajat jakautuivat paikkakunnittain seuraavasti.

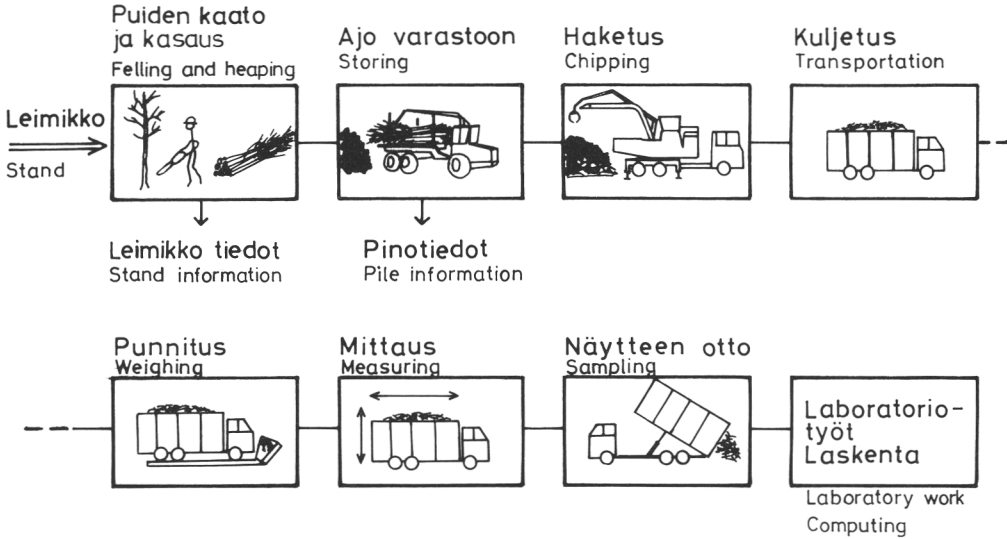
Paikka	Kuivumisaika kourakasoissa, vk										
	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Savonlinna	-	6	6	6	11	22	-	44	6	-	
Mikkeli	-	7	7	21	-	64	-	-	-	-	
Oulu	25	-	-	50	-	-	-	-	-	25	

Puut ajettiin kesän aikana metsävarastoihin, joissa säilytysaika vaihteli 4:stä 12,5 kuukauteen. Haketukset aloitettiin marraskuussa ja saatettiin päätökseen huhtikuussa. Normaalilla hakkeen käyttörytmiä ja näin ollen myös kokeiden suoritusta häiritsivät leuto talvi ja Savonlinnassa lämpökeskuksen osittainen keskenäisyys.

Aineisto jakautui hakkuutavan mukaan seuraavasti.

Hakkuutapa	Savonlinna	Paikkakunta		
		Mikkeli	Oulu	Kajaani
		%		
Taimikon harvennus	-	-	33	-
Hakkuualueen raivaus	15	20	-	-
Verhoppuuston poisto	69	60	-	-
Paljaaksihakkuu	15	20	33	75
Muu	-	-	33	25

TUTKIMUKSEN TOIMINTAKAAVIO
OPERATION FIGURE



Kuva 1. Tutkimuksen eri työvaiheet metsähakkeen hankintaketjussa.
Figure 1. Work phases in the forest chip procurement chain.

Ryhmä "muu" koostuu etupäässä ensiharvennusmet-sikoistä. Savonlinnan ja Mikkelin alueilla puuston kas-vupaikka oli mustikka- tai käenkaali-mustikkatyyppiä, Oulussa puolukkatyyppiä tai sitä karumpaa ja Kajaani-ssa mustikka-puolukkatyyppiä.

Savonlinnassa ja Mikkelissä pääosa leimikoiden puus-tosta oli leppää (84 ja 88 %), Oulussa koivua (kuva 4) ja mäntyä (61 ja 34 %) ja Kajaani-ssa koivua, kuusta ja leppää (40, 34 ja 22 %). Puuston kuutiomäärä ja rin-nankorkeusläpimitta olivat seuraavat.

	Savonlinna	Mikkeli	Oulu	Kajaani
Puusto, m ³ /ha	50	62	65	98
D _{1,3} , cm	7,5	6,4	10,0	13,3

Tutkimusaineisto koostuu yhteensä 24 leimikosta, joista tehtiin 41 koepinoa. Aineisto, joka oli Kajaanin aluetta lukuun ottamatta etupäässä verhopuustoleppää ja harvennuskoivua, jakautui paikkakunnittain ja puu-lajeittain seuraavasti.

Paikkakunta	Pinoja, kpl	Puulajisuhteet, %			
		Mänty	Koivu	Leppä	Muut
Savonlinna	15	-	17	82	1
Mikkeli	14	6	13	81	1
Oulu	5	48	45	7	-
Kajaani	7	-	99	1	-

Pinon kuivumisolot, varastopaikan valoisuus, tuuli-sus ja pinon tiivys olivat eri paikkakunnilla seuraavat.

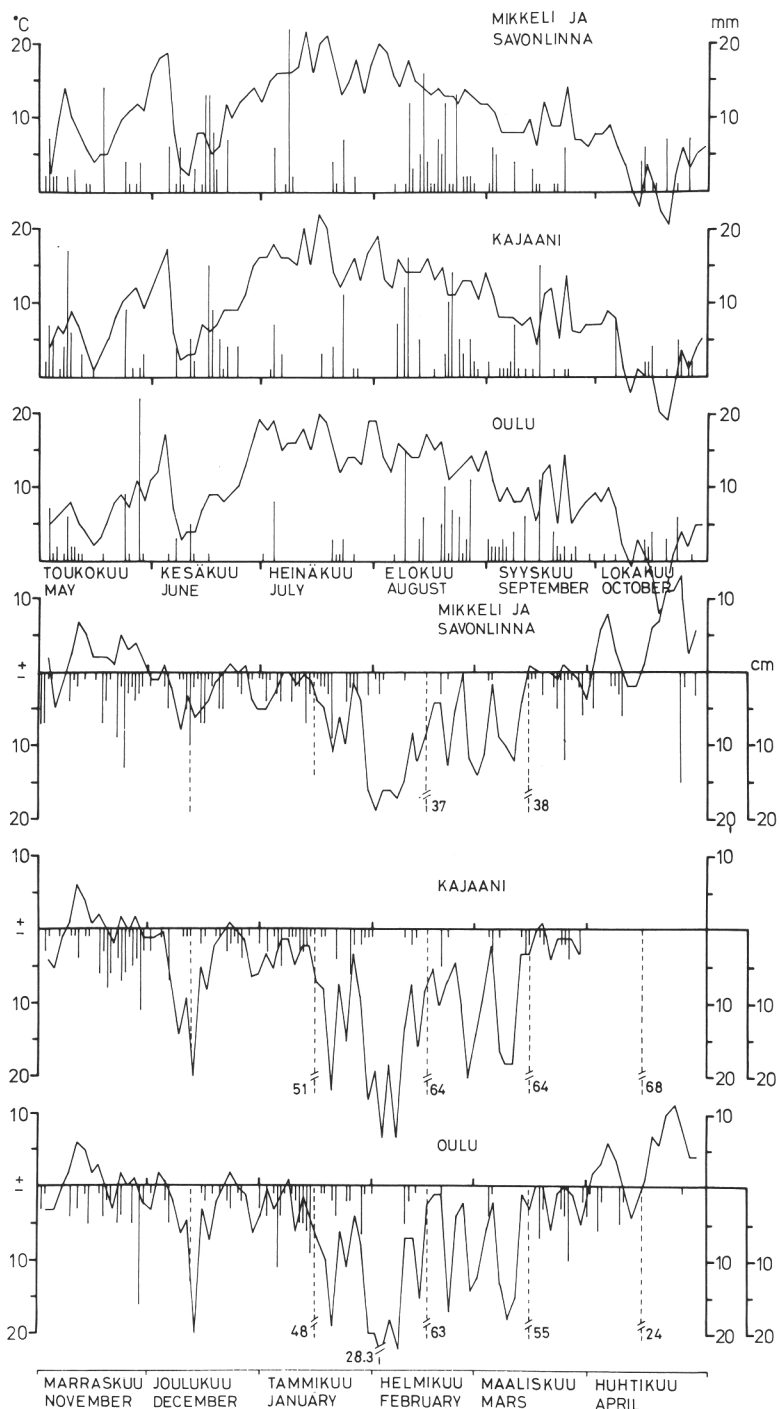
	Paikkakunta			
	Savonlinna	Mikkeli	Oulu	Kajaani
	%			
Valoisuus				
Aurinkoinen	33	43	25	43
Puolivarjoisa	61	50	50	14
Varjoisa	6	7	25	43
Tuulisuus				
Tuulinen	11	36	25	43
Heikkotuulinen	72	36	50	14
Tyyni	17	29	25	43
Tiivys				
Tiivis	44	79	100	-
Puolitiivis	33	14	-	100
Harva	22	7	-	-

Asetelman mukaan varastopaikat ovat olleet Mikkelin alueilla kuivumisen kannalta selvästi edullisempia kuin muualla, kun taas pinon tiivys on ollut siellä suurempi.

Seuraava asetelma osoittaa, että Oulun alueen pinot ovat olleet huomattavasti suurempia mutta matalampia kuin muiden tutkimuspaikkojen pinot. Myös Savonlinnan ja Mikkelin koepinoilla on merkittävä kokoero, joka johtuu pienikokoisten hankintapinojen osuudesta.

Paikka	Pinon koko		Pinon korkeuden vaihtelurajat, cm
	Korkeus, cm	p-m ³	
Savonlinna	266	557	200—330
Mikkeli	245	350	200—300
Oulu	218	700	180—240
Kajaani	200	67	180—230
Keskim.	244	423	180—330

Lämpölaitoksiin kuljetettiin Savonlinnassa yhteensä 29, Mikkelissä 56, Oulussa 13 ja Kajaani-ssa 26 punnit-tua ja mitattua hakekuormaa. 28 pinoa peitettiin erilai-silla katemateriaaleilla.



Kuva 2. Lämpötila, sademäärä ja lumen syvyys tutkimuspaikkakunnilla kuukausittain. Yhtenäinen viiva = vuorokauden keskilämpötila, pylvääät = sademäärä, katkoviiva = lumen syvyys.
 Figure 2. Temperature, rainfall, and snow depth per month at the study localities. Continuous line = average daily temperature, columns = rainfall, broken line = snow depth.

3. HAKKEEN KOSTEUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

31. Leimikkokohtaiset tekijät

Hakkeen kosteus riippuu toisaalta metsikön puuston ja energiapuuksi käytettävän puuaineen ominaisuuksista kuten puuston iästä, koosta, puulajisuhteista ja puutavaralajista ja toisaalta hakepuun käsittelystä, erityisesti kaatoajankohdasta ja puiden säilytyksestä rasissa tai kourakasoissa. Kaatotuo-reella puulla oksien määrä vaikuttaa hakkeen kosteuteen, sillä havupuiden oksat ovat yleensä runkopuita kuivempia. Koivulla tilanne taas on päinvastainen. Lämpölaitosten polttaman metsähakkeen kosteus on talvikaudella keskimäärin noin 40 % ja kesällä merkittävästi alempi. Kuormien välinen kuu-kausittainen keskihajonta on yleensä 5—6 kosteusprosenttiyksikköä (Hakkila 1984).

Koska puusto oli kaikilla tutkituilla alueilla pienikokoista harvennus- tai verhopuustoa, sen ominaisuuksien vaihtelut vaikuttivat vain vähän hakkeen kosteuteen. Tärkeimmät leimikoiden väliset erot johtuivat näin ollen kaatoajankohdasta ja hakepuun kuivatuksesta. Muilla tutkimuspaikkakunnilla paitsi Kajaanissa hakepuu kuivatettiin ajouran varteen kerätyissä kourakasoissa.

Puulajisuhteet ja puutavaralaji vaikuttavat myös hakkeen mittaussuhteisiin kuten tiiviyyteen ja irtotilavuusyksikön kuivamassasisältöön.

Taulukosta 1 nähdään hakkeen talvella mitatun kosteuden ja kosteussuhteen riippuvuus puuston kaato- ja maastokuivatusajasta Savonlinnan ja Mikkelin alueilla. Näitä kahta paikkakuntaa koskevat tulokset on

Taulukko 1. Leppävaltaisen kokopuuhakkeen kosteuden riippuvuus kaatoajasta ja kokopuiden kuivatuksesta kourakasoissa.

Table 1. The moisture content of alder dominant whole tree chips as a function of felling time and drying time of whole trees in grapp heaps.

Kaatoaika Felling time	Kosteus, % — Moisture content of green weight, %					Kosteussuhde, % — Moisture content of dry weight, %				
	Kuivatus kourakasoissa, vk — Drying in grapp heaps, weeks									
	4	6	8	10	Keskim. Average	4	6	8	10	Keskim. Average
—15.6										
Peitetty Covered piles	34	35	36	37	36	53	54	56	58	55
Peittämätön Uncovered piles	43	41	38	42	41	74	70	61	75	70
16.6—15.7										
Peitetty Covered piles	41	..	..	35	38	69	..	..	54	61
Peittämätön Uncovered piles	42	..	..	39	41	74	..	..	65	69
16.7—										
Peitetty Covered piles	..	37	35	..	36	..	59	53	..	56
Peittämätön Uncovered piles	..	36	36	..	36	..	54	55	..	55

Taulukko 2. Pinotavarasta valmistetun hakkeen kosteuden riippuvuus pinojen varastointiajasta.
Table 2. The moisture content of pulp wood chips as a function of stack storage time.

Puulaji Species	Kosteus tuoreena, % Moisture content in green wood, %	Kosteus, % — Moisture content of green weight, %							
		Varastointiaika pinoissa, kk — Storing in piles, months							
		4	8	9	10	4	8	9	10
Koivu, Birch,	peitetty covered piles		38	34	40				
	peittämätön uncovered piles	45	38	36	41				
Leppä, Alder,	peitetty covered piles	40				67	61	51	66
	peittämätön uncovered piles	50	45			81	61	56	70

katsottu tarkoituksenmukaiseksi yhdistää, koska sekä puusto että varastointiolot olivat kummallakin hyvin samankaltaiset. Hajon-
toja ei esitetä, koska aineisto ei anna siihen
kaikilta osin tilastollisia edellytyksiä. Taulu-
kosta, joka perustuu 32 pinon aineistoon,
nähdään että noin puolessa koe-eristä kos-
teus on laskenut alle 40 %:n. Lämpölaitokset
maksavat yleensä alemman hinnan hakkees-
ta, jonka kosteusprosentti on tätä suurempi.
Lyhin käytetty maastokuivatusaika oli kaksi
viikkoa, eikä pitempikään kuivatus maastos-
sa useimmiten enää vähentänyt hakkeen kos-
teutta. Koska kuivumisolosuhteet olivat koko ke-
sän ja alkusyksyn erittäin edulliset (kuva 2),
vielä loppukesälläkin kaadetut koe-erät saa-
vuttivat 36 prosenttiyksikön keskimääräisen
kosteuden (taulukko 1).

Myös kesän yli varastopinoissa säilytetyn
koivupinotavaran kosteusprosentti oli keski-
määrin lähes yhtä pieni (taulukko 2). Taulu-
kosta 1 ilmenee, että hakepuun kosteus oli
alentunut eri aikoina kaadetuilla puustoilla
9—14 % taulukon 2 osoittamiin kaatotuo-
reen puun kosteuksiin verrattuna (Hakkila
1962).

32. Pinokohtaiset tekijät

Hakepuun kuivumiseen kasalla tai rasissa
tai tietyin kuivusasteen säilymiseen yksittäis-
essä pinossa vaikuttavat sääolojen lisäksi
mm. pinon sijainti, koko, tiiviys, puutavara-

laji sekä haketus aika. Sateet ja talvella pinon
pääle kertyvä lumi lisäävät hakepuun kos-
teutta, ellei niiden vaikutusta estetä erityis-
toimin, esimerkiksi pinojen peittämisellä.

Hakepuusta tehdyn hakkeen kosteus riip-
puu eniten pinon varastointiajasta, haketus-
ajankohdasta sekä pinon jäätyneisyydestä ja
lumisuudesta haketusajankohtana. Koska
maastokuivatuksen pituus ei tutkimuksen
mukaan vaikuttanut olennaisesti kuivumi-
seen tutkittuna kuivumiskautena, voidaan
hakkeen kosteutta tarkastella talven edisty-
misen ja nimenomaan pinojen päältä mita-
tun lumikerroksen paksuuden mukaan. Peit-
tämättömistä vertailupinoista haketetusta
materiaalista todettiin eri talvikuukausina
seuraavat kosteudet ja pinon päällä olevan
lumikerroksen paksuudet Savonlinnan ja
Mikkelin alueilla.

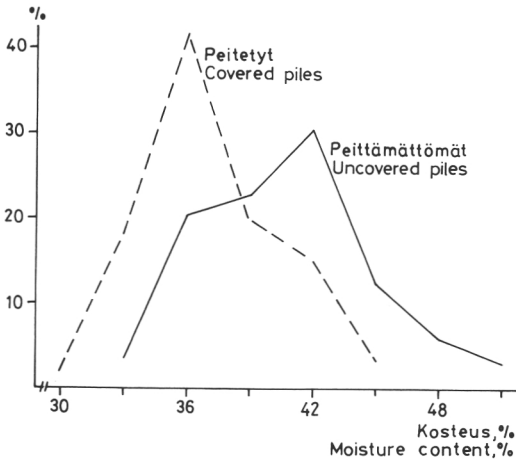
Haketusaika	Kosteus, %		Kosteussuhde, %		Lumen paksuus, cm
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Tammikuu	36,1	4,6	57,4	12,7	5
Helmikuu	39,0	2,3	64,4	6,2	26
Maaliskuu	40,7	3,3	69,1	9,6	25
Huhtikuu	40,9	3,7	69,7	10,8	5

Taulukoista 1 ja 2 ilmenee myös pinon
kattamisen vaikutus hakkeen kosteuteen.
Peitettyjen ja peittämättömien erien väliset
kosteuserot vaihtelivat alkukesällä kaadetus-
sa puustossa 2:sta 9 %:iin.

Peittämättömistä ja peitetyistä vertailupi-
noista valmistetun hakkeen kosteus oli paik-
kakunnittain taulukon 3 mukainen. Taulu-
kon mukaan hakkeen kosteus on ollut peite-
tyissä kasoissa keskimäärin kolme prosentti-

Taulukko 3. Koepinoista valmistetun hakkeen kosteus paikkakunnittain.
 Table 3. Moisture content of chips made from sample stacks by locality.

Paikka Locality	n	Kosteus, % Moisture content, %		Vaihtelurajat, % Range of variation, %
		\bar{x}	s	
Peitetyt — Covered piles				
Oulu	5	35,0	..	32,5—38,0
Savonlinna ja Mikkeli	55	36,0	3,8	28,5—47,3
Kajaani	12	37,2	4,4	26,6—40,8
Kaikki	72	36,1	3,8	26,6—47,3
Total				
Peittämättömät—Uncovered piles				
Oulu	8	38,9	..	34,5—43,0
Savonlinna ja Mikkeli	81	39,2	4,0	31,4—50,4
Kajaani	14	38,6	5,1	29,5—46,1
Kaikki	103	39,1	4,0	29,5—50,4
Total				



Kuva 3. Peitetystä ja peittämättömästä kokopuusta valmistetun hakkeen kuormittainen kosteusjakauma.
 Figure 3. Moisture distribution per load of chips made from covered and uncovered whole trees.

yksikköä pienempi kuin peittämättömissä kasoissa. Keskimäärin hake on ollut hyvin kuivaa, ja kosteuden vaihtelut ovat olleet vähäiset myös tavallisissa, peittämättömissä varastopinoissa. Peitetyistä ja peittämättömistä kuitupuupinoista valmistetun hakkeen kosteusero oli 1,5 prosenttiyksikköä, joka ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($t = 0,74$).

Peittämättömistä ja peitetyistä kasoista tehdyn hakkeen kosteus vaihteli 95 %:n luotettavuudella välillä $39,1 \pm 8,0$ % ja $36,1 \pm 7,6$ %. Kosteuksien keskiarvojen ero oli

myös tilastollisesti merkitsevä ($t = 4,86$). Kaikkiaan leppävaltaisen kokopuuhakkeen kosteus vaihteli tavallisissa varastokasoissa Savonlinna — Mikkeli -seudulla 29,5:stä 50,4 prosenttiyksikköön ja peitetyissä kasoissa 26,6:sta 47,3 prosenttiyksikköön (kuva 3). Etupäässä koivua sisältävän pinotavarahakkeen kosteus vaihteli tavallisissa sekä peitetyissä pinoissa 29,5:stä 46,1:een ja 26,6:sta 40,8 prosenttiyksikköön.

Hakkeen suuret kosteus- ja muut laatu- vaihtelut aiheuttavat hankaluuksia hakelämpölaitoksissa. Kosteusvaihtelujen tasoittuminen parantaa hakkeen varastointi-, käsittely- ja poltto-ominaisuuksia. Kuvasta 3 nähdään tavallisista ja peitetyistä varastopinoista saadun hakkeen kosteuden jakaumat. Peittämättömien pinojen kosteusvaihtelut ovat olleet suurempia kuin vertailupinojen.

Puun kosteus vaikuttaa ratkaisevasti sen teholliseen lämpöarvoon. Lämpöarvo riippuu lisäksi puuaineen tiheydestä sekä kulloinkin tarkasteltavan biomassan koostumuksesta. Viheraineen, kuoren, neulasten ja oksien suuremman määrän vuoksi hakkuutähdehakkeen polttoainekilon lämpöarvo on korkeampi kuin kokopuusta tai rangasta valmistetun hakkeen lämpöarvo. Koivupuun lämpöarvo on puolestaan korkeampi kuin esimerkiksi kuusikuitupuun lämpöarvo.

Kun tunnetaan puun tilavuusyksikön kuivapaino sekä biomassan eri komponenttien suhteet ja niiden lämpöarvo, voidaan laskea eri puutavaralajien lämpöarvo tilavuusyksikköä kohti. Taulukon 4 painoluvut perustuvat

Taulukko 4. Leppä- ja koivukokopuun tehollinen lämpöarvo megajouleina irt- ja kiintokuutiometriä kohti.

Table 4. Effective heat values of alder and birch whole trees as measured in megajoules per loose and solid volume.

Puulaji Species	Kuivamassa — Dry weight		Kosteus, % — Moisture content, %			
	i-m ³ /m ³ loose m ³ /m ³	kg/i-m ³ kg/loose m ³	0	20	40	60
			MJ/i-m ³ — MJ/loose m ³			
Leppä—Alder		158	3002	2907	2749	2433
Leppävaltainen Alderdominant		168	3192	3091	2923	2587
Koivukokopuu Birch whole tree		180	3420	3312	3132	2772
Koivupinotavara Birch pulpwood		186	3627	3515	3329	2939
	Tuoremassa — Green weight					
	i-m ³ /m ³ loose m ³ /m ³	kg/i-m ³ kg/loose m ³	MJ/i-m ³ — MJ/loose m ³			
Leppä—Alder	2,38	376	7144	6918	6542	5790
Leppävaltainen Alderdominant	2,33	390	7410	7176	6786	6006
Koivukokopuu Birch whole tree	2,64	473	8987	8703	8230	7284
Koivupinotavara Birch pulpwood	2,63	489	9536	9242	8753	7726

aikaisempiin tutkimuksiin runkopuun (Hakkila 1966), kuoren, oksien ja neulasten puuaineen kuiva-tuoretiheydestä (kg/m³) (Hakkila 1967, Kärkkäinen 1976, Hakkila 1971, Gislerud 1974) sekä puuston biomassan eri

komponenttien tehollisesta lämpöarvosta absoluuttisen kuivassa tilassa (Olofsson 1975). Kaikkien puutavaralajien peruslämpöarvona on käytetty 19 MJ/kg.

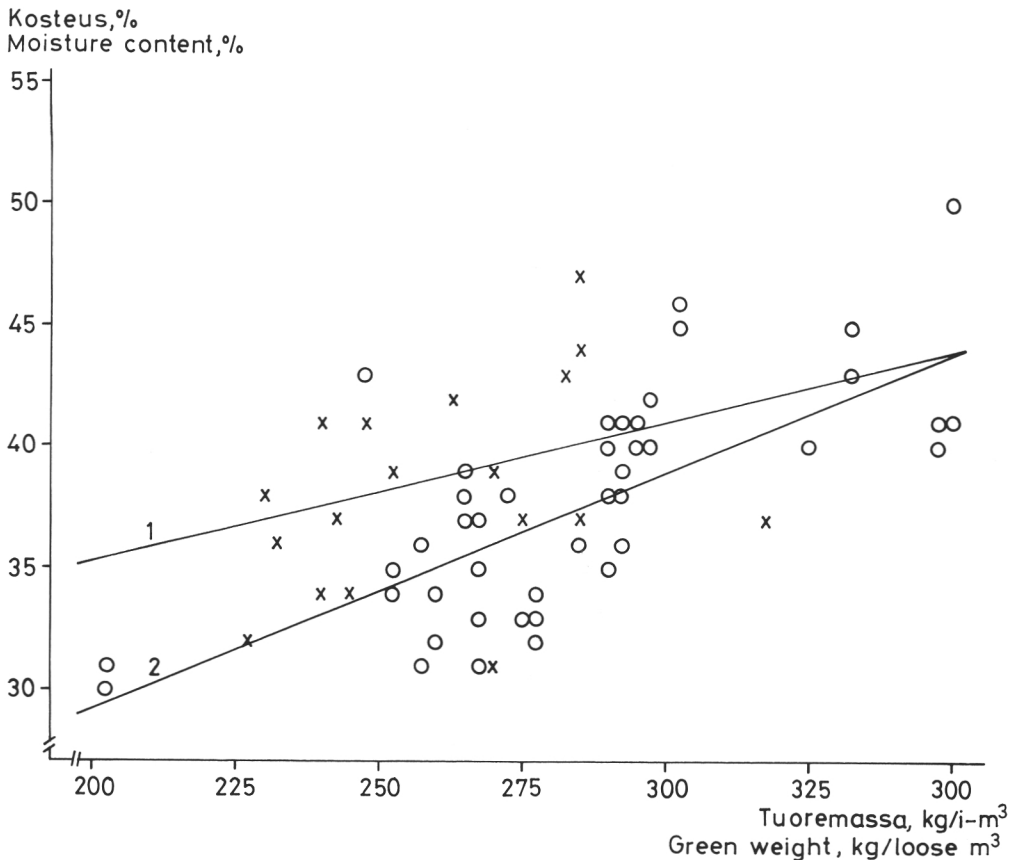
4. HAKKEEN IRTOTILAVUUSYKSIKÖN MASSA JA SIIHEN VAIKUTAVAT TEKIJÄT

41. Leimikkokohtaiset tekijät

Metsähakkeen irtotilavuusyksikön tuoremassa irtotilavuusyksikköä kohti (kg/i-m³) riippuu mm. leimikon puulajista, puuston koosta, puutavaralajista sekä puuston kaato- ja metsäkuivatusajasta. Eri puulajien kuiva-tuoretiheys (kg/m³) vaihtelee suunnilleen rajoissa 350—500 kg/m³. Puuston koko ja puutavaralaji taas vaikuttavat lähinnä hakkeen laatuun ja koostumukseen ja sen perusteella hakkeen tiivytteen. Eniten vaikuttaa puun vesimäärä, joka tuoreella lepällä on keskimäärin noin 50, koivulla 45 ja männylä 55 % puun kokonaispainosta (Hakkila 1962).

Puuston koko ja rakenne olivat Savonlinnan ja Mikkelin alueella hyvin samankaltaiset. Puusto oli etupäässä pieniläpimittaista verhopuustoleppää, jonka sekapuuna oli koivua, haapaa, raitaa ja pihlajaa. Oulun alueella puusto oli etupäässä harvennuskoi-vua, Kajaanissa pinotavarakoivua ja vähemmistönä leppää. Irtokuution massa oli puulajeittain seuraava.

	Tuoremassa, kg/i-m ³ \bar{x}	Kuivamassa, kg/i-m ³ \bar{x}		
Mänty	282	165		
Koivu, harvennuspuu	282	179		
Koivu, pinotavara	298	25	186	12
Leppä, harvennuspuu	282	30	171	16
Leppävaltainen	270	29	173	14
Leppä, pinotavara	243	140		



Kuva 4. Leppävaltaisen kokopuuhakkeen tuoremassan (kg/i-m^3) ja kosteuden välinen riippuvuus Savonlinnan (1) ja Mikkelin (2) alueilla.

Figure 4. The correlation between the green weight (kg/loose m^3) of alder dominant whole tree chips and the moisture content in the Savonlinna (1) and Mikkeli (2) areas.

Koko aineiston massojen keskiarvojen suuret hajonnat johtuvat monista samanlaisesti massaun vaikuttavista tekijöistä, mm. kuljetusoloista ja hakkurista. Kun massaa sen sijaan tutkitaan paikkakunnittain, irtokuutiopainojen vaihtelut tasoittuvat.

Koska sää oli koko kesän kuivumisen kannalta erityisen suotuisa, puuston maastokuivatusajan pituuden ja kaatoajankohdan vaihtelun ei voitu osoittaa vaikuttaneen selvästi suuntaan tai toiseen metsähakkeen massaun. Hakkeen massaun vaihtelu riippui näin ollen etupäässä pinokohtaisista tekijöistä, esimerkiksi hakepuun käsittelystä, hakkeen valmistuksesta, kuljetuksesta sekä puulajisuhteista.

42. Pinokohtaiset tekijät

Metsähakkeen irtokuution tuoremassan ja kosteuden välillä vallitsee teoriassa suoraviivainen riippuvuus, mikäli haketusolot ja puustoa koskevat tekijät pysyvät vakioina. Tämä nähdään kuvasta 4, jossa esitetään kosteuden ja tuoremassan suhteet Savonlinnan ja Mikkelin alueilla. Peittämättömistä pinoista valmistetun hakkeen tuore- ja kuivamassoissa oli paikkakuntien välillä irtotilavuusyksikköä kohti keskimäärin 20:n ja 16 kg:n ero, joka johtui etupäässä hakkurin vaikutuksesta (kuva 5).

Hakekuormasta määritetyn kosteuden ja tilavuuden perusteella ei siis samassakaan hakeketjussa voida päätellä hakkeen tuoremassaa, joka riippuu lisäksi kuorman tiivyydestä ja puulajista.

Taulukko 5. Peitetyistä ja peittämättömistä koepinoista valmistetun leppävaltaisen kokopuuhakkeen massa.

Table 5. Weights of alder dominant whole tree chips made from covered and uncovered test stacks.

Paikkakunta Locality	Tuoremassa, kg/i-m ³ Dry weight, kg/loose m ³				Kuivamassa, kg/i-m ³ Dry weight, kg/loose m ³	
	Peitetty Covered	s	Peittämätön Uncovered	s	\bar{x}	s
Savonlinna	252,3	19,0	269,8	23,7	161,7	14,2
Mikkeli	268,0	27,2	290,4	30,3	175,9	13,2
Keskim.	262,9	24,6	284,6	28,5	171,7	13,4
Total						

Kuvan 4 aineisto käsittää leppä- ja leppävaltaiset hakekuormat, joissa leppän osuus on ollut vähintään 70 %. Kuvaan liittyvät yhtälöt korrelaatiokertoiminen olivat seuraavat:

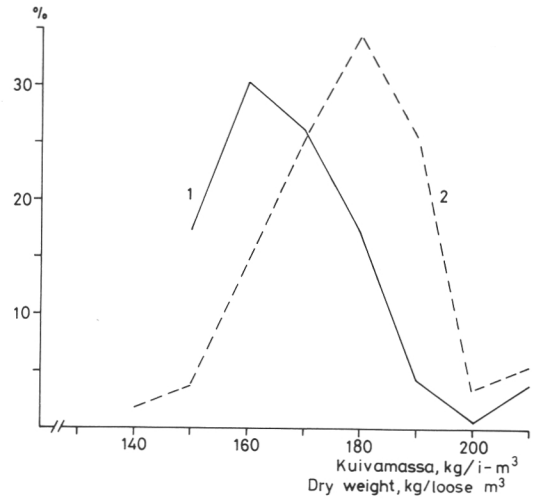
Savonlinna	Mikkeli
$x = 2.2088 \times y + 176,05$	$x = 5.0066 \times y + 95,189$
$r = 0,3610$	$r = 0,7073$
$\bar{x} = 260,6$	$\bar{x} = 282,7$
$s = 24,9$	$s = 30,9$
$\bar{y} = 38,3$	$\bar{y} = 37,5$
$s = 4,1$	$s = 4,4$

Yhtälössä x = hakkeen tuore massa, kg/i-m³ ja y = hakkeen kosteus, %.

Kosteuden ja irtokuution kuivamassan välillä ei sen sijaan voitu todeta lainkaan riippuvuutta. Tässä aineistossa ei siis hakkeen kosteuden lisääntyminen ole lisännyt hakkeen tiivyyttä autokuormissa.

Taulukossa 5 esitetään metsähakkeen kuivamassa sekä peitetyistä ja peittämättömistä pinoista saadun hakkeen tuoremassa Savonlinnan ja Mikkelin alueella. Pinojen kattaminen alensi kummallakin paikkakunnalla kosteuden vähenemisestä johtuen hakkeen tuoremassaa noin 20 kg/i-m³ ($t = 2,78$ ja $t = 1,96$, erot merkitsevät). Peittämisellä oli siis selvä vaikutus tuoremassaan ja näin ollen edullinen vaikutus myös hakekuljetusten taloudellisuuteen. Peitetyistä ja peittämättömistä kasoista valmistetun hakkeen painoerot olivat Mikkelin ja Savonlinnan aineistoissa myös tilastollisesti erittäin merkitseviä. Etupäässä hakkurin vaikutuksesta paikkakuntien välinen hakkeen painoero oli kuivamassasta laskettuna 16 kg (ero tilastollisesti erittäin merkitsevä, $t = 3,27$) ja tuoremassasta 20 kg/i-m³ (ero tilastollisesti merkitsevä, $t = 2,53$).

95 %:n luotettavuusrajat irtokuution tuore- ja kuivamassoille sekä massojen vaihteluvälit olivat kummallakin paikkakunnalla seuraavat. Kuivamassat käsittävät sekä pei-



Kuva 5. Leppävaltaisen kokopuuhakkeen kuivamassojen (kg/i-m³) jakauma Savonlinnan (1) ja Mikkelin (2) alueilla.

Figure 5. Distribution of dry weights (kg/loose m³) of alder dominant whole tree chips in the Savonlinna (1) and Mikkelin (2) areas.

tetyistä että peittämättömistä kasoista saadun aineiston.

Paikkakunta	Luotettavuusrajat		Vaihteluväli	
	Peitetty	Peittämätön Tuoremassa, kg/i-m ³	Peitetty	Peittämätön
Savonlinna	252 ± 43	270 ± 51	285 — 227	318 — 229
Mikkeli	268 ± 57	290 ± 62	295 — 203	352 — 247
	Kuivamassa, kg/i-m ³			
Savonlinna	162 ± 35		141 — 200	
Mikkeli	179 ± 27		140 — 207	

Taulukosta 6 nähdään että pinojen kattaminen on alentanut myös koivu- ja leppäpinojen tavarahakkeen massaa 10—20 kg/i-m³, kun koe-erät haketettiin marras-, joului- ja tammikuussa. Hakkeen tuoremassa oli 301 kg ja kuivamassa 186 kg/i-m³.

Hakekuorma tiivistyvä kuljetusmatkan aikana ajoneuvon tärinän takia, ja siksi hak-

Taulukko 6. Kuitupuusta valmistetun hakkeen massan riippuvuus pinojen varastointiajasta.

Table 6. The weight of pulpwood chips as a function of stack storage time.

Puulaji Species		Varastointiaika, kk Storage time, months				Keskim. Total
		1	8	9	10	
		Tuoremassa, kg/i-m ³ — Green weight, kg/loose m ³				
Koivu Birch	Peitetty Covered		303	284	298	294
	Peittämätön Uncovered		308	294	318	301
Leppä Alder	Peitetty Covered	235				235
	Peittämätön Uncovered	251				251

keen käyttöpaikalla mitatut irtokuution massat ovat suuremmat kuin lähtiessä mitatut. Tämä nähdään seuraavasta asetelmasta, johon on laskettu Mikkelin alueen osa-aineistosta hakkeen massat ennen ja jälkeen kuljetuksen.

Mittauspaikka	Tuoremassa kg/i-m ³		Kuivamassa
	Peitetty	Peittämätön	
Ennen kuljetusta	269	286	170
Kuljetuksen jälkeen	289	312	178

Hakkeen tiiviys kasvaa kuljetusmatkan kasvaessa. Sahanhakkeella tehtyjen perusteellisten tutkimusten nojalla on voitu todeta, että tiiviys ja hakkeen painuma lisääntyvät aluksi suuresti matkan kasvaessa mutta tasaantuvat myöhemmin. Kulminoitumispiste on noin 20 km:n kohdalla (Uusvaara 1972, Nylinder 1982). Vaikka metsähaketta ei yleensä kuljeteta yhtä pitkiä matkoja kuin sahanhaketta, se saavuttaa kuitenkin usein lähes maksimaalisen tiiviyden. Tämä johtuu huonoista ja kuoppaisista sivuteistä, joita pitkin metsähaketta joudutaan kuljetta-
maan.

Metsähakkeen painumamittauksia tehtiin Mikkelin seudun kokopuuhaikkeesta. Noin 50 km:n keskikuljetusmatkalla todettiin 2,9 %:n tai 1,21 i-m³:n painuma ajoneuvossa, jonka tilavuus oli 40 i-m³.

Seuraava asetelma osoittaa, että hakkeen tilavuusyksikön massa ei kasva johdonmukaisesti kuljetusmatkan pidetessä, kun tarkasteltavana on koko aineisto, jossa myös muut tekijät kuin kuljetusmatkan pituus vaikuttavat massaan samanaikaisesti. Jos sen sijaan tiettyä kuormaa tutkittaisiin kuljetusmatkan kasvaessa, irtotilavuusyksikön kuivamassasisältö kasvaisi tasaisesti painumailmion johdosta.

Kulj. matka, km	Tuoremassa kg/i-m ³		Kuivamassa
	Peitetty	Peittämätön	
5	245	262	159
30	272	289	172
40	247	248	144
Keskimäärin	253	269	161

5. HAKKEEN TIIVIYS

Hakekuorman tiivyyteen (m³/i-m³) vaikuttavat haketus- ja kuormausolot, kuljetustekniikka sekä puuaineen ominaisuudet. Erityisesti metsähakkeelle tyypillisenä piirteenä ovat suuret oksa-, kuori- ja viherainemäärät, jotka haketta holvatussa vähentävät sen tiivyyttä. Mitä lastumaisempaa tai suuripalaisempaa hake on, sitä alhaisempi on sen tiiv-

viys. Muuttamalla hakepalojen lävistäjäpaksuussuhdetta on kiintotilavuussuhdetta voitu muuttaa ± 0,04 yksikköä keskiarvostaan (Edberg ym. 1973).

Hienoaineksen osuuden lisääminen noin 50 %:n rajaan asti nostaa tiivyyttä, jonka jälkeen se alkaa pienentyä (Solantausta ja Asp-lund 1979). Hakkeen murenemista aiheutta-

Taulukko 7. Kokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentti paikkakunnittain.
Table 7. Solid volume percentages of whole tree chips by locality.

Paikkakunta Locality	Puulaji Species	Kuormia, kpl Number of loads	Kiintotilavuus- prosentti Solid volume, %		Vaihteluväli, % Range of variation
			\bar{x}	s	
Savonlinna ja Oulu □	Mänty— <i>Pine</i>	3	44,4		
	Leppä— <i>Alder</i>	18	43,4	2,0	38,2—54,3
	Koivu— <i>Birch</i>	10	38,1	4,2	34,8—43,3
	Seka— <i>Mixed</i>	5	40,0		27,6—42,6
Mikkeli	Leppä— <i>Alder</i>	27	47,9	3,4	43,6—55,9
	Seka— <i>Mixed</i>	28	41,5	3,5	33,3—49,3
Kajaani	Leppä— <i>Alder</i>	2	38,2		
	Koivu— <i>Birch</i>	24	38,8	3,3	37,7—38,8
Kaikki— <i>All</i>	Mänty— <i>Pine</i>	3	44,4		
	Leppä— <i>Alder</i>	47	45,8	4,5	37,7—55,9
	Koivu— <i>Birch</i>	34	38,6	3,1	28,8—43,3
	Seka— <i>Mixed</i>	33	41,2	3,4	33,3—49,3
Yhteensä— <i>Total</i>		117	42,4	4,9	28,8—55,9

vat etenkin pakkanen, puun kuivuminen ja lahoaminen sekä hakkurin terien tylsyminen. Myös hakkurin puhallustehon nousu nostaa tiiviyyttä. Kokeissa tiiviysarvoja on voitu muunnella puhallustehoa säätämällä suunnilleen välillä 38—48 (Pellikka 1983).

Tässä yhteydessä tiiviys esitetään kiintotilavuusprosentteina, jotka osoittavat kuljetuksen jälkeen mitattuja tiiviyyksiä. Hakkeen vastaanotto paikalla mitatut tiiviyydet ovat aikaisempien tutkimusten mukaan noin kaksi prosenttiyksikköä suurempia kuin ennen kuljetusta mitatut arvot. Kiintotilavuusprosentit perustuvat tässä tutkimuksessa saatuun puulajeittaisten irtokuution kuivapainojen ja kiintotilavuusyksikön kuivan biomassan (Hakkila 1966 ja 1971) suhteisiin.

Ne olivat eri puulajeilla seuraavat:

Puulaji	Kuivamassa, kg/i-m ³	Kuiva-tuore- tiheys, kg/m ³	Kiintotilavuus- prosentti
Pinotavarakoivu	186	470	39,6
Harvennuskoivu	179	470	38,1
Mänty	165	385	42,8
Leppä	174	370	47,0

Hakkurityypit ja etenkin niiden puhallusvoimien erot vaikuttivat siihen, kuinka tiivistä hakkeesta tuli (vrt. Metsola 1983). Savonlinnan ja Mikkelin alueilla mitattujen hakekuormien kiintotilavuusprosenttien välinen ero oli 5,4 %. Taulukossa 7 tiiviyydet esitetään paikkakunnittain. Savonlinnan ja Oulun aineistot on yhdistetty saman hakkurityypin johdosta.

Leppähakkeen suuri ja koivuhakkeen vähäinen tiiviys sopivat yhteen tähän asti muissa tutkimuksissa saatujen tulosten kanssa. Tiiviys on vaihdellut niissä puulajeittain seuraavasti: mänty 42,1 — 46,7, koivu 38,0 — 38,9, leppä ja leppävaltainen 43,4 — 49,5 (Hakkila ym. 1975, Hakkila ym. 1977, Kanninen ym. 1979, Kanninen 1980 ja Metsola 1983). Kuusikokopuulle on Metsola (1983) saanut tiiviysarvon 38 %.

Koivupinotavarahakkeen tiiviys vaihteli tässä tutkimuksessa vähiten sen vuoksi, että kyseessä oli oksaton, laadultaan hyvin homogeeninen puutavara, joka hakettiin terminaalissa. Tällöin myös tiiviyyteen vaikuttavat kuljetusolosuhteet olivat aina samat.

6. PINOJEN KATTAMINEN

61. Katemateriaalit ja niiden käsittely

Tutkimuksessa kokeiltiin katteita sekä erilaisia, useampivuotiseen käyttöön tarkoitettuja peitteitä, lähinnä kertakäyttöisiä muovikelmuja ja erikoisvalmisteisia kestopapereita. Lainapeitettä, muovista lasikuituverkolla vahvistettua eurapeitettä sekä japanilaista lasikuitupeitettä (itomaania), pidettiin hinnaltaan ja laadultaan kokeiluun soveltuvimpina peitteinä. Käytettyjen muovikelmujen paksuudet olivat 0,09, 0,15 ja 0,20 mm. Kokeiltavia erikoispapereita olivat lasikuituverkolla vahvistettu sahatavarakääre sekä ohut ja paksu vuorauspaperi eli bitumikreppi, joiden neliöpainot olivat 250, 100 ja 165 g/m².

Kaikki kuormapeitetyypiset katteet kiinnitettiin alustaansa narulenkkeillä siten, että puiden latvapääät jäivät ilman peittoa ja kasan etuosaan muodostui kastumiselta suo-

jaava räystääs. Peitteen päälle pantiin lisäpainoksi jonkin verran karsittuja rankoja. Tämä oli tarpeen myös siksi, että peitteen taka-reunan sitominen kokopuiden latvaosiin oli vaikeata. Tästä syystä sekä latvojen vähäisen puumäärän vuoksi katteita ei lainkaan levitetty latvojen päälle. Peitteet sidottiin kokopuukasoissa kiinni osittain pinoon ja osittain katteen päälle kerättyihin rankoihin. Jotta peitteen reuna pysyisi paikallaan, sidottiin isokokoiset rangat kiinni peitteen reunoihin myös pinon päissä. Koivupinotavarakasoissa käytettiin peitteen painoina enemmän pölkkyjä kuin kokopuukasoissa, koska reunojen sitominen oli vaikeata (kuva 6).

Peitteen nostaminen kasan päälle, levittäminen sekä poisto oli hankalinta lainapeitettä käytettäessä, koska se oli muita painavampaa materiaalia. Peitteen käsittely vaati käytännössä kahden miehen työn. Kelmujen ja



Kuva 6. Lasikuitupeitteellä katettua koivupinotavaraa Hyrynsalmella.
Figure 6. Birch pulp wood protected by fibre glass covering at Hyrynsalmi.



Kuva 7. Kokopuupino ennen kattamista.
Figure 7. Whole tree stack before covering.



Kuva 8. Bitumikreppi vedetään taitettuna pinon päälle ja avataan siellä.
Figure 8. A folded bitumen crepe paper cover is drawn over the pile and unfolded when in place.



Kuva 9. Tasoitetun kasan päälle on varattu painoiksi karsittuja kokopuita.
Figure 9. Delimbed whole trees reserved for weights on the levelled stacks.



Kuva 10. Painot heitetään kattamisen viime vaiheessa peitteiden päälle. Etualalla bitumikreppiä ja taustalla sahatavarakäärettä.
Figure 10. Weights are placed on the stacks after covering. In the foreground bitumen crepe paper covers, in the background sawn goods covering.



Lasikuituvahvisteinen muovi (Eurapeite) kiinnitetään reunoistaan hakasin ja narusidoksin.

paperipohjaisten katteiden levittäminen oli helppoa ellei tuullut. Niiden kiinnittäminen epätasaiselle alustalle oli sen sijaan vaikeata, koska ohuet materiaalit eivät kestä narusidoksia. Lähes ainoaksi käyttökelpoiseksi mutta käsin tehtynä työlääksi menetelmäksi osoittautui karsittujen pölkkyjen käyttö painoina (kuva 9). Paksun muovin kiinnittämisessä olivat kuitenkin käyttökelpoisia myös eurapeitteen kiinnikkeet. Jos halutaan varmistaa kelmujen pysyminen pinon päällä sekä peitteen säilyminen suhteellisen ehjänä seuraavaa kertaa varten, on pinon päällyksen ensin tasoitettava oksia ja ylös suuntautuneita runkoja katkomalla. Painoina käytettäviä rankoja on myös laitettava tiheään, 0,5—1 metrin välein (kuvat 7—10).

Monista rankapainoista huolimatta tuulet repivät muovi- ja paperipeitteitä rikki ja kuorivat niitä reunoiltaan pois kasan päältä. Ohuen muovikalvon ja ohuen bitumikrepin tuulenkestävyys oli huonoin. Kuormapeitteet pysyivät paikoillaan yleensä hyvin, mutta niiden jäätyminen kiinni alustaansa sekä päälle kertynyt lumi ja jää vaikeuttivat niiden poistoa ja haketusta.

Lumen poisto ennen haketusta oli helpompaa sileäpintaisilta lasikuitupeitteiltä kuin lainapeitteeltä. Myrskyt repivät myös osan laina- ja lasikuitupeitteistä käyttökelvottomiksi. Kuormapeitteiden poistossa kokeiltiin sekä miestyö- että konevoimaa. Noin 20 cm:n paksuisen lumikerroksen lapioimiseen ja jäätyneen, normaalikokoisen (5 × 7 m) peitteen poistoon ja pinkkaukseen kului kahdelta mieheltä aikaa noin 15 minuuttia. Hakurin kahmaimella saatiin lainapeite poistetuksi myös noin 15 minuutissa, mutta peite saattoi silti repeytyä. Konetyö on kallista ja kustannuksia lisää se, että pinojen päältä poistetut peitteet tai niiden jätteet on kuitenkin kerättävä talteen käsin.

Kaikki kelmut ja paperikatteen haketettiin kokopuiden mukana. Niiden poisto lumikerroksen alta ei onnistu ehyenä, mutta myös kelmuja voidaan käyttää uudelleen, jos pinot jäävät hakettamatta myöhäiskeväeseen. Peitteen konekäsittelyn ja haketuksen haittapuolena saattaa olla peitteen repeily, jolloin varastopaikalle voi jäädä luontoa rumentavia jätteitä. Niiden keräilyyn ja hävittämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.



Ohuen muovikelmun painoina on karsittuja kokopuita.



Myrskyt repivät katteita etenkin tuulisilla paikoilla.

Kelmuilla peitetyistä kasoista hakettiin ensin luminen pintakerros. Koska puut olivat kuivia, hakkurin tärinä varisutti hyvin niiden joukkoon joutuneen lumen pois. Puiden latvat olivat sen sijaan kosteuden kannalta suurin ongelma kaikissa lumen peittämissä pinoissa. Lumi kasaantui niihin kaltevan pinnon päältä ja jäättyi kiinni talven aikana. Tämä aiheuttaa hakkeen kosteusvaihteluita myös peitetyistä pinoista peräisin olevassa hakkeessa.

Peitteet luokiteltiin poiston jälkeen kuntoon ja käyttökelpoisuudeltaan seuraaviin ryhmiin, joissa luokka hyvä tarkoittaa käyttökelpoista uudelleen sellaisenaan, keskinertainen käyttökelpoista korjattuna ja heikko korjauskelvotonta tai useisiin paloihin reennyttä.

Peitelaji	Hyvä	Kunto		Heikko
		Keskinkertainen %		
Lainapeite	45	45		10
Itomaani	50	25		25
Eurapeite	50	50		-

Peitteet olivat siis yleensä yhden talvikauden jälkeen käyttökelpoisia sellaisenaan tai pienin korjauksin. Peitteen kestoajaksi voitaneen laskea keskimäärin noin kolme vuotta (vrt. Savisalo 1982).

62. Peittämiskustannukset hankintaketjun osana

Tutkimuksessa kokeillut katemateriaalit ja peitekulut hakepuun tilavuusyksikköä ja hakkeen irtotilavuusyksikköä kohti olivat seuraavat. Hinnat on laskettu kevään 1982 hintatason mukaan.

		mk/m ²	mk/p-m ³	mk/i-m ³
Bitumikreppi, ohut	100 g/m ²	1,00	0,3	0,6
Bitumikreppi, vahva	165 g/m ²	1,20	0,3	0,7
Sahatavara-kääre	250 g/m ²	1,40	0,4	0,9
Muovikelmu, paksuus	0,09 mm	0,95	0,4	1,0
Muovikelmu, paksuus	0,15 mm	1,40	0,7	1,6
Uusiomuovi, paksuus	0,20 mm	1,38	0,7	1,5
Lainapeite, käytetty		0,83	0,3	0,8
Lasikuitupeite, japanilainen		1,46	0,6	1,3
Lasikuituvahvistettu muovi, suomalainen (eurapeite)		1,81	0,7	1,5

Peittämisen ja peitteiden poiston työkuustannukset sekä hankinta-, kuljetus- ja yleiskustannukset (mk/i-m³) ovat asetelman mukaan miestyövoimaa käytettäessä seuraavat:

Peite-tyyppi	Kattaminen		Katteen poistaminen		Kustannuslajit		Yleiskustannukset		Yhteensä mk
	mk	%	mk	%	Hankinta, kulj. ym. mk	%	mk	%	
Kuormapeite	0,3	20	0,5	33	0,1	7	0,6	40	1,5
Paperi ja kelmu	0,5	56	0,1	11	0,1	11	0,2	22	0,9

Kattamisen kokonaisyksikkökustannukset vaihtelivat siten kuormapeiteillä 2,3:sta 3,0 mk:aan sekä papereilla ja kelmuilla välillä 1,5—2,5 mk/i-m³. Pinojen hakesisältö on laskettu pinojen keskimääräisen korkeuden perusteella. Peite poistettiin yleensä pinosta haketus koneen kahmaimella, koska se tapahtui miestyötä nopeammin ja alhaisemmin kustannuksin. Peitteet repeytyivät tällöin kuitenkin yleensä pahoin.

Tässä yhteydessä lasketut kustannukset eivät anna täysin oikeata kuvaa käytännön kustannuksista. On nimittäin otettava huomioon, että katteet saadaan huomattavasti tässä esitettyä halvemmalla, kun ne hankitaan suurissa erissä.

Kattamisen taloudellisuuden ensimmäinen edellytys on katettavien kohteiden huolellinen suunnittelu ja myös tarvittavan lämpöenergiämäärän ottaminen huomioon. Turhan työn ja kustannusten säästämiseksi olisi peitettävä ensisijaisesti edullisimmat kohteet, joista energiapuun joustava saanti talven ja myös kelirikkokausien aikana olisi turvattu.

Turhien kuljetuskustannusten välttämiseksi kattamistyö tulisi myös kohdistaa mieluummin tietyille alueille tai suuriin, yhtenäisiin varastoalueisiin sekä suuriin ja korkeisiin pinoihin. Erityisen edullisia kohteita ovatkin terminaalit, joissa energiapuun hankinnan eri vaiheet ovat helpoimmin suunniteltavissa ja toteutettavissa. Kattaminen on tehtävä ennen syysateita syys-lokakuussa maan osasta riippuen.

Kattamisen merkitystä arvioitaessa on otettava huomioon myös laitoskohtaiset tekijät. Eräät laitokset, erityisesti usein pienet yksiköt, ovat arkoja hakkeen kosteuden ja laadun vaihteluille. Näin ollen polttoaineen kosteuden tasoitaminen valvainta aikana on edullista. Toisaalta pienten voimaloiden saamista toimituksista huomattava osa saattaa koostua hankintakaupoista, joihin pinojen kattaminen on nykyisin heikommin sovellettavissa.

63. Peittämisen hyödyt

Kokopuupinojen peittämällä saavutettavina hyötynäkökohtina voidaan mainita seuraavat:

- metsähakkeen kosteus alenee, jonka vuoksi hyötysuhde poltossa kasvaa. Hyöty on sitä suurempi mitä sateisempia myöhäissyky ja talvi ovat.
- metsähakkeen kosteus tasaantuu ja poltto helpottuu
- hakkeen keventyminen parantaa kuljetusten taloudellisuutta
- hakkeen laatu ja poltto-ominaisuudet paranevat
- hakkeen laadun paraneminen sekä lumen ja jään estyminen parantavat kuorman tiivyyttä
- haketus helpottuu, koska puut eivät ole jäätyneet toisiinsa kiinni
- hakkeen kosteuden seuranta antaa varmemmat tulokset.

Kattamisella saavutettavien hyötyjen suhdetta peittämisen kustannuksiin voidaan tun-

tuvasti kohottaa huolellisen ennakkosuunnittelun avulla jo ennen hakepuun varastokuljetuksia. Hyötyjä voidaan näin lisätä ja kustannuksia pienentää. Varastojen suunnittelussa olisi kiinnitettävä huomiota varastopaikkojen keskittämiseen mahdollisuuksien mukaan leimikoita yhdistämällä sekä pinojen kokoon, muotoon ja maaston kulkukelpoisuuteen.

Koska varastopinot eivät kastu haitallisesti vielä lyhytaikaisista sateista, olisi ensisijaisesti pyrittävä kattamaan pinot, jotka tulevat Etelä-Suomessa käyttöön aikaisintaan vuodenvaihteen tienoilla ja Pohjois-Suomessa jonkin verran aikaisemmin.

Peitettävä raaka-aineen määrä on luonnollisesti oltava oikeassa suhteessa lämpölaitoksen kapasiteettiin, jotta turhilta kattamiskustannuksilta vältyttäisiin.

7. TULOSTEN TARKASTELU

Kokopuiden kosteuden aleneminen rasiinkaatoa tai kasoilla kuivattamista sovellettaessa riippuu ennen kaikkea kuivumisajan säästä. Eräissä tähän asti tehdyissä tutkimuksissa on toukokuun alussa rasiin kaadetun koivun kosteus laskenut kuukauden aikana 30:stä 35 prosenttiyksikköön ja lepän kosteus 35:stä 40 prosenttiyksikköön tuoreen puun kosteustasosta (Hakkila 1962). Normaalista sateisemman kesän aikana taas mainittuja kosteuksia ei ole saavutettu kahdenkauden kuukauden kuivatuksella. Samansuuntaiset tulokset saivat myös Simola ja Mäkelä (1976). Koivun kuivuminen on ollut tehokkaampaa kuin havupuiden, eikä toisaalta varastointitapa tai runkojen läpimitta vaikuttanut olennaisesti tuloksiin (myös Hakkila 1963).

Kesäkauden epäedullisiin säihin olisi kuitenkin varauduttava ajoittamalla hakepuun kaato huhti-kesäkuuhun. Tällöin lehtipuille riittää hyvissä olosuhteissa 2—3 viikon kuivumisaika, mutta normaaleina kesinä riittävän alhainen kosteus saavutetaan vasta 4—6 viikon kuivatuksella. Hakkilan (1962) mukaan koivurunkojen kosteus laskee toisaalta keskinkertaisissa sääoloissa vain vaivoin alle 40 %:n. Mänty kuivuu rasissa kuusta ja lehtipuita huonommin. Tässä tutkimuksessa

saatujen tulosten mukaan noin kuukauden kuivatusaika rasissa tai kourakasoilla on tarkoituksenmukainen.

Koivuhakepuu saavutti riittävän alhaisen polttokosteuden jo kaksiviikkoisen, kevääseen ajoittuvan maastokuivatuksen jälkeen. Koska säät olivat kuitenkin koko kesäkauden kuivumisen kannalta hyvin suotuisat, tiivydeltään keskimäärin alhaiset hakepuukasat kuivuivat todennäköisesti hyvin vielä välivarastoissakin. Kourakasojen ja välivarastokasojen rakenteeseen ja maastoon sijoittamiseen olisi tästä syystä kiinnitettävä huomiota tehokkaan kuivumisen varmistamiseksi.

Jos kosteutta pyritään alentamaan katteilla, kasat olisi taloudellisista syistä tehtävä mahdollisimman suuriksi ja korkeiksi sekä muodoltaan sellaisiksi, että peitteillä saavutettaisiin mahdollisimman suuri suojaushyöty. Pinojen korkeuden olisi oltava vähintään kolme metriä ja pintakerroksen jonkin verran eteenpäin vedetty, jotta pinon sisäosat säilyisivät kuivina. Pieniä, erillisiä yhden hakekuorman kasoja tulisi välttää. Yksi näkökohta, joka kosteuden alenemisen ohella puoltaa kattamista, on haketustyön helpottuminen ja näin saavutettavat kustannussäästöt. Peittämättömissä kasoissa rungot

saattavat jäätyä sateisina syksyinä ja talvina kiinni toisiinsa pinon pohjaan asti, jolloin haketus vaikeutuu.

Puiden latvukset sitovat kokopuukasoissa talvisin suuret määrät lunta ja jäää ja aiheuttavat siten hakkeen kosteuden epätasaisuutta. Tutkimuksessa todettiin esimerkiksi, että puiden latvusten päälle kertyvän lumikerroksen paksuus oli vähintään kaksinkertainen pinon päällä olevan lumen syvyyteen verrattuna. Tämä haitta voitaisiin suurimmaksi osaksi poistaa, jos latvukset katkaisitaisiin ja jätettäisiin metsään jo kaadon ja kasauksen aikana. Kourakasoissa voitaisiin suorittaa myös karkea roiskekarsinta. Tällaisella työmenetelmällä saavutettaisiin mm. seuraavia etuja:

- hakkeen kosteus alenee
- puiden kuljetus ja kasojen mittaus helpottuu
- hakkeen laatu paranee ja laitteistohäiriöt lämpölaitoksissa vähenevät
- tilaa säästyy varastopaikoilla
- taimikkovauriot vähenevät
- maan köyhtyminen estyy, koska kaikkia ravinteita ei kuljeteta pois
- kuormien tiiviys lisääntyy

Haittapuolina olisivat kaato- ja kasautyön ajanmenekin kasvu, korjuukustannusten nousu sekä poltettavan kuiva-aineen väheneminen.

Kattaminen kuormapeitteillä ei ole yleensä kannattavaa, jos verrataan tässä tutkimuksessa saatuja pinojen peittämiskustannuksia kosteuden alenemisen aiheuttamaan hakkeen hinnan nousuun. Riittävän paksut kalvot ja vahvikepaperit soveltuvat sen sijaan kattamiseen hyvin. Ne ovat myös taloudellisesti kannattavia, etenkin jos peittäminen voidaan koneellistaa. Peittäminen voitaisiin suorittaa parhaiten hakepuun metsävarastoinnin yhteydessä, jolloin katteet on mahdollista kiinnittää pinon päälle metsätraktorin nosteleminen runkonippujen avulla.

Mikäli hakepuun myyntihinta perustuisi selvästi materiaalin lämpöarvoon, saattaisi kuitenkin myös kalliimpien ja kestävämpien katteiden käyttö hankintakaupoissa tulla kannattavaksi. Käyttö perustuisi silloin hakepuun myyjän omaan työhön ja katteiden huolellisesta käsittelystä johtuvaan pitkäikäisyyteen.

Myös Savisalo (1982) pitää PE-kalvolla peittämistä kuormapeiteratkaisua selvästi halvempänä ja myös taloudellisesti kannattavana vaihtoehtona, jos käytetään riittävän

suurikokoisia kalvoja. Savisalo on laskenut käytetyn lainapeitteen ja paksun muovikalvon peittämiskustannuksiksi 3,9—4,4 ja 2,5 mk/i-m³, kun pinon keskikoko on 150 i-m³ ja korkeus 3 m.

Myös erityisesti peiteinä käytettävien kelmujen ja papereiden hinta halpenee peitettävien varastojen koon kasvaessa. Saatava hyöty riippuu kokopuun hankinnan suuruudesta, pinojen koosta ja tiivyydestä sekä säästä. Sateisuudeltaan ja lämpötilaltaan normaaleina kesinä kattamisella saavutettava kosteuden ero peitettyjen ja peittämättömien kasojen välillä muodostunee suuremmaksi kuin tässä tutkimuksessa saatu 3 %.

Kokopuuhakkeen irtotilavuusyksikön massa vaihtelee suuresti. Tämä johtuu etenkin puulajisuhteista, kuljetusmatkasta sekä hakkurin rakenteesta. Leppävaltainen hake painoi kourakasoissa tapahtuneen kuivatuksen jälkeen tuoreena 285 kg/i-m³ ja absoluuttisen kuivana 172 kg/i-m³. Todettakoon, että kuivamassa oli noin 10 kg/i-m³ alhaisempi kuin aiempien tutkimustulosten puhtaan koivuhakkeen massa ja myös selvästi alhaisempi kuin leppähakkeen massa (Kanninen ym. 1979). Hakkila ym. (1975) ilmoittivat koivu- ja mäntykokopuuhakkeen tuore- ja kuivamassoiksi 350 ja 180 kg/i-m³ sekä Hakkila ja Mäkelä (1975) vesakosta tehdyn hakkeen massoiksi 224 ja 121 kg/i-m³. Kanninen (1980) sai leppävaltaisen TT 1000 TS-hakkurilla haketetun kokopuuhakkeen tuore- ja kuivamassoiksi 345 ja 194 kg/i-m³. Tulosten ero johtuu etupäässä hakkurien puhallusvoimakkuuksien eroista sekä kuljetuksen aiheuttamasta painumasta.

Painuma oli tässä tutkimuksessa vain 2,9 %, kun taas aiemmin Hakkila ym. (1975) ovat todenneet koivuhakkeella vetovaunussa ja perävaunussa 5,3 ja 13,5 %:n ja männyllä 4,1 ja 7,9 %:n painumat sekä Kanninen ym. (1979) vastaavasti 2,8 ja 5,2 %:n ja Kanninen (1980) vetovaunussa 17 km:n kuljetusmatkalla 1,4 %:n painumat. Eri paikkakunnilla mitatut kokopuuhakkeen painot osoittavat, että hakkeen laatua sekä valmistus- ja kuljetusteknisiä olosuhteita koskevat perustiedot ovat välttämättömiä verrattaessa hakkeen eri hankintojen tai tutkimusten painotietoja keskenään.

Hakkeen kiintotilavuusprosentti kertoo hakkeen tiivyyden kuormassa. Se riippuu painumasta sekä hakkeen ominaisuuksista.

Hakkeen tiivyydestä saatiin samansuuntainen tulos kuin aiemmissa tutkimuksissa (Kanninen ym. 1979), joissa leppä-, mänty- ja koi-vuhakkeen tiheyksiksi esitetään 48,4, 42,1 ja 38,9 %. Erityisen tiivistä on leppähake, kuten osoittaa myös Kannisen (1980) saama kiintotilavuusprosentti 49,5.

Kokopuuhakkeen mittayksikkönä käytetään m³ irtotilavuutta, jonka sisältämä puumäärä vaihtelee paljon ja aiheuttaa siten virheitä hakkeen mittauksessa. Hakkeen irtotilavuusmittauksen haitoilta vältyttäisiin siirtymällä kuiva-ainemäärien vertailuun perustuvaan massan mittaukseen. Tämän mittausten menetelmän soveltaminen hakkeen kaltaiseen massa-artikkeliin olisi periaatteessa helppoa, koska kuiva-aineen selvittämiseen tarvittavien näytteiden otto olisi helpompaa ja luotettavampaa kuin esimerkiksi pyöreässä puutavarassa. Massan mittauksessa tulevat otetuiksi huomioon oikeudenmukaisesti hakkeen tiivyyteen vaikuttavat tekijät, kuten hakkurin ja hakkeen laadun sekä lastaus- ja kuljetusteknisten seikkojen vaikutukset tarkasteltaviin hakemääriin. Tällöin olisi myös kattaminen edullinen hakkeen hankinnan toimenpiteenä. Toisaalta näytteenotto voi olla ongelma etenkin talviaikana, jolloin hakekuormiin mukaan tuleva lumi ja jää saattaa aiheuttaa huomattavia kosteusvaihteluita. Myös puulajien erottaminen toisistaan on usein vaikeata.

Menetelmän hankaluutena ja pienempien hankintojen suoranaisena esteenä on tietysti myös vaakakaluston puute. Irtotilavuutena saatujen hakemäärien muuntaminen kiintotilavuudeksi on myös epävarmallista pohjalla. Yleisesti käytössä oleva keskimääräinen muuntoluku saattaa yksittäistapauksissa johtaa vääriin tuloksiin hakkurikaluston ja hakeraaka-aineen vaihdellessa. Edellä maini-

tut ongelmat vaatisivatkin lisätutkimuksia.

Kokopuiden kosteuden alenema maastokuivatuksessa riippuu ratkaisevasti kuivumisajan sääoloista. Maastokuivatus takaa yleensä hakepuulle riittävän alhaisen peruskosteuden, mutta lämpölaitokselle tulevan hakkeen kosteuden alentamiseksi ja laadun parantamiseksi olisi hakepuun käsittelyssä kiinnitettävä huomiota seuraaviin tekijöihin.

- kokopuiden kaato olisi ajoitettava huhti-kesäkuuhun, jotta kevään otolliset säät ja lehtien puhkeamisen etu veden haihduttamiseksi puustosta voitaisiin käyttää hyväksi.
- normaalikevänä on noin kuukauden kestävä kuivatusaika riittävä.
- puiden kuivumisolot kasoissa tai rasissa on järjestettävä kuivumisen kannalta mahdollisimman edullisiksi.
- kourakasoissa olisi tehtävä pintapuolinen roiskekarsinta, jotta varastokasoihin kiinnittyvän lumen ja jään määrää voitaisiin vähentää.
- varastokasojen sijoittamiseen maastossa on kiinnitettävä huomiota, sillä puiden kuivuminen jatkuu myös niissä.
- parhaat kasat olisi peitettävä keskitetysti kalvoilla, kestopaperilla tai vastaavilla hinnaltaan edullisilla katteilla.
- katteet on yleensä suunniteltava kertakäyttöisiksi ja hakettava kokopuiden mukana.

Eri hakekuormien tai hake-erien sisältämä kuiva-ainemäärä riippuu puuaineen kuiva-etuoretiheydestä sekä hakkeen tiivyydestä, johon vaikuttavat mm. hakkeen palakoko, tikkuisuus, viherainemäärä, hienojakeen määrä, hakkurin puhallusteho sekä kuljetusmatka. Tästä syystä pyrkimyksenä tulisi olla, sikäli kuin vaakakalusto yleistyy, polttotarkoituksiin käytettävän hakkeen määrän mittaaminen painon avulla, jolloin voitaisiin määrittää kunkin toimituksen todellinen energiasisältö.

8. TULOSTEN TARKKUUS JA LUOTETTAVUUS

Tutkimuksen aineisto kerättiin neljällä paikkakunnalla, joista kaksi oli Keski-Suomessa, yksi Pohjois-Suomessa ja yksi Kainuussa. Aineiston alueellisen keskittymisen takia tuloksia ei voi näin ollen yleistää. Lisäksi Kainuun alueen materiaali poikkesi eräissä suhteissa normaalista kokopuuhakkeesta, koska kyseessä oli pinotavara.

Kullakin osa-alueella valittiin tutkimuksen kohteeksi tarkoituksenmukaisimmat leimikot, joista oli saatavissa tutkimuksen kannalta tarpeelliset tiedot. Kun tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin esimerkiksi eräät hankintaleimikot, joissa puiden kaato- ja kasausaika ei voinut määrittää tarkasti, tuli lopulliseen aineistoon mukaan suurin osa kunkin

piirin leimikoista.

Kaikki kustakin leimikosta peräisin olevat pinot pyrittiin tekemään koepinoiksi. Pienet ja huonosti tehdyt sekä hyvin syrjäiset pinot kuitenkin hylättiin. Hylättyjen leimikoiden ja pinojen ei voida olettaa muuttaneen aineiston rakennetta. Aineisto, joka käsitti yhteensä 24 leimikkoa ja 41 koepinoa, on laajuudeltaan riittävä muiden paikkakuntien paitsi Oulun osalta. Sen vuoksi Oulun alueen tulokset on esitetty yleensä muuhun aineistoon yhdistettyinä.

Aineiston pääpuulajit olivat leppä ja koivu, jotka usein esiintyivät pinoissa myös erilaisissa suhteissa. Mäntyhakkeesta saatiin vain suuntaa antavia tuloksia, ja kuusi puutui kokonaan. Puusto oli tyyppillistä harvennus-, hakkuualan raivaus- ja kuusikon verhopuustoa.

Ilmaston sekä puuston samankaltaisuuden vuoksi Savonlinnan ja Mikkelin alueiden kokopuuhakkeen kosteus oli lähes sama ja kosteusvaihtelut hyvin pienet. Kosteus erosi vain yhden prosenttiyksikön verran, ja hajonnat kummallakin paikkakunnalla olivat samat eli 4 %. Kosteuden 95 %:n luotettavuusrajat olivat Savonlinnan ja Mikkelin alueilla 38,3 + 8,6 % ja 37,1 + 8,0 %.

Hakkeen irtotilavuusyksikön tuore- ja kuivamassat sekä hakkeen tiiviys olivat sen sijaan kaikkien paikkakuntien erilaisten olojen takia erilaiset. Tästä syystä myös eri paikkakuntia koskevia tuloksia on tarkasteltava

erikseen. Savonlinnan ja Mikkelin alueilla olivat irtotilavuusyksikköä kohti lasketut tuoremassan ja kuivamassan luotettavuusrajat 260,6 + 52,3 ja 282,7 + 61,8 kg sekä 160,5 + 32,3 ja 175,9 + 27,4 kg. Kuivumisen kannalta erityisen hyvien säiden johdosta kosteus- ja painoluvut antavat jonkin verran liian suotuisan kuvan kokopuiden kuivumisesta normaalivuosiin verrattuna.

Metsähakkeen kuormien välinen kosteuden vaihtelu on jonkin verran suurempi kuin tavallisen sahanhakkeen kosteusvaihtelut. Tämän perusteella olisi oletettavissa, että myös osanäytteiden välinen kosteusvaihtelu hakekuormissa on sahanhaketta suurempi. Uusvaaran (1978) mukaan sahanhakkeen kosteuden keskihajonta vaihtelee 3,9:stä 7,1 %:iin keskiarvosta, kun taas kokopuuhakkeella hajonta on yli 10 % keskiarvosta.

Kuten aiemmin todettiin, kasojen päällä oleva sekä peitettyjen runkojen latvoihin tarttunut lumi saattaa aiheuttaa virheitä kosteudenmäärityksessä. Nämä pyrittiin tutkimuksessa välttämään ottamalla riittävän monta osanäytettä ja kooltaan riittävän suuri kuormakohtainen näyte. Kun kustakin kokopuuhakekuormasta otettiin 10 osanäytettä ja 2 litran lopullinen kosteusnäyte, päästiin ilmeisesti vähintään yhtä suureen kuiva-ainemäärityksen tarkkuuteen kuin Uusvaaran (1978) tutkimuksessa, vaikka näytekysikköjä oli huomattavasti vähemmän.

9. TIIVISTELMÄ

Kokopuuhakkeen kosteus riippuu kokopuiden kaatoajankohdasta, puiden kuivatuksen järjestelyistä sekä säästä. Hakkeen kosteus laskee alle 40 prosenttiyksikön noin puolessa koe-eristä, joiden maastokuivatusaika vaihteli 2:sta 10 viikkoon. Haketukset ja kosteusmittaukset tehtiin syksyn ja talven aikana normaalin polttohakkeen hankinnan yhteydessä.

Hakkeen kosteus oli keskimäärin 39,1 %, mutta kasojen peittäminen erilaisilla katteilla vähensi kosteuden 36,1 prosenttiyksikköön. Peitetystä kasoista saadun hakkeen kosteus oli myös tasaisempi kuin peittämättömien kasojen hakkeen kosteus.

Kokopuuhakkeen massa riippui selvimmin puulajista ja hakkurista. Leppävaltaisen kokopuun, koivukokopuun ja pinotavarakoivun tuoremassat olivat 270, 282 ja 298 kg/i-m³ sekä kuivamassat 173, 179 ja 186 kg/i-m³. Hakkurit olivat pinotavaralla Karhula 312 C ja muulla puutavaralla TT 1000 TS ja Erjo 120-HV-900. Hakkurin vaikutus irtokuution tuoremassaan oli noin 20 kg ja kuivamassaan noin 15 kg irtotilavuusyksikköä kohti.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi hakkeen massa riippuu hyvin monista puutavaraan, haketusoloihin ja hakkeen kuljetusoloihin liittyvistä tekijöistä. Tässä tutkimuk-

nessa todettiin leppävältaisen kokopuuhakkeen tuoremassan kasvavan 50 km:n keski-kuljetusmatkalla noin 20 kg/i-m³ ja kuivamassan vastaavasti noin 10 kg/i-m³. Pinojen kattaminen puolestaan pienensi hakkeen massaa keskimäärin 20 kg/i-m³, kun loka-kuussa peitettyt koe-erät haketettiin joulu-maaliskuussa.

Hakkurityyppi aiheutti hakkeen kuljetuksen jälkeen mitatussa tiiviydessä eri paikka-kuntien välillä yli 5 prosenttiyksikön eron. Myös puulaji, puutavaralaji, puuston koko, kaato- ja haketusaika vaikuttavat hakkeen tiiviyteen, sillä puun laadun muutokset vaikuttavat myös hakkeen laatuun. Puulajeit-taiset irtokuution kuivamassojen ja kiintoti-lavuusyksikön kuivan biomassan suhteen pe-rusteella lasketut kiintotilavuusprosentit oli-vat: mänty 42,8, leppä 47,0, harvennuskoivu 38,1 ja pinotavarakoivu 39,6 %.

Pinojen kattamisessa kokeilluista eri tyyp-pisistä, uusista ja käytetyistä kuormapeitteis-tä, muovikelmuista ja kestopapereista kel-mut ja paperit olivat helpoimmat levittää, mutta niiden kiinnittäminen paikoilleen kä-

sityönä oli hankalaa ja hidasta. Tällaiset kat-teet vaativat nimittäin paljon painoja, jotta ne kestäisivät tuulien repimistä sekä pinojen päälle kertyvän jää- ja lumikerroksen pai-non.

Painoina käytettyjen rankojen keräily ka-sojen päältä on käytännössä tavallisesti vai-keaa ja kannattamatonta. Näin ollen kaikki ohuet peitelaadut on käytännöllisintä ja taloudellisinta hakettaa kokopuiden muka-na. Riittävän paksut kalvot ja vahvikepape-rit soveltuvat hinnaltaan ja ominaisuuksil-taan parhaiten kattamiseen etenkin jos ne voidaan levittää paikoilleen jo varastopinoja muodostettaessa, ja jos peittämissä voidaan koneellistaa. Varastopinojen kokoon sekä kattamistyön alueelliseen keskittämi-seen on syytä kiinnittää huomiota.

Eri peitelaatujen hinnat vaihtelivat vuoden 1982 hintatason mukaan laskien 0,8—1,8 mk/m² ja 0,6—1,6 mk/i-m³ haketta. Katta-misen kokonaiskustannukset vaihtelivat eri-laisilla kuormapeitteillä 2,3—3,0 mk sekä papereilla ja kelmuilla 1,5—2,5 mk/i-m³ pi-nosta saatavaa haketilavuutta kohti.

KIRJALLISUUS

- Bergman, Ö. 1973. Lagring av bränsleflis. Summary: Storage of fuel chips. Rapp. Instn. Virkeslära. Skogshögsk. R85:1—72.
- Björklund, L. 1983. Lagring av helträflis av olika trädslag samt i olika fraktioner. Summary: Storage of whole tree chips of different species and in different fractions. Rapp. Instn. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv. 143:1—56.
- Edberg, V., Engström, L. & Hartler, N. 1973. The influence of chip dimensions on chip bulk density. Svensk Papperstidning 76(14):529—533.
- Gislerud, O. 1974. Heltreutnyttelse. IV. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjørk og or. Summary: Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch and alder. Norsk Institutt for Skogforskning. Skog-teknologisk avdeling. Rapport 6:1—46.
- Hakkila, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsäsä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Commun. Inst. For. Fenn. 54(4):1—82.
- 1963. Koivujen kuivuminen rasissa ja niistä tehtyjen pinotavarapölkkyjen vettyminen uitossa. Summary: The seasoning of leaf-felled birches and the water-logging of cordwood of leaf-felled birches in floating. Commun. Inst. For. Fenn. 57(3):1—32.
- 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutki-muksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tihey-destä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5):1—98.
- 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painopro-sentista. Summary: Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. Commun. Inst. For. Fenn. 62(5):1—37.
- 1971. Coniferous branches as a raw material source. Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Commun. Inst. For. Fenn. 75(1):1—60.
- 1984. Metsähakkeen hankinta lämpöläitosten polttoaineeksi. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö-projekti. KTM. Energiaosasto. SITRA. Tutkimusraportti 33:1—121.
- & Kalaja, H. 1983. Hakeketjujen toimivuus ja kus-tannukset — esitutkimus. Kotimaisten polttoaineiden alueellisen hyväksikäytön projekti. SITRA. Tutkimusraportti 14:1—24.
- , Kalaja, H. & Mäkelä, M. 1975. Kokopuun käyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. Folia For. 240:1—78.
- , Kalaja, H., Salakari, M. & Valonen, P. 1977. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. Seloste: Kokopuuna korjuu männikön ensiharven-nuksessa. Folia For. 333:1—58.
- & Mäkelä, M. 1975. Pallarin vesakkoharvesteri. Summary: Pallaris busharvester. Folia For. 249:1—18.
- Heino, E. 1982. Energiapajujen kuivatus kasoissa. Ko-

- neviesti 3.
- Immonen, K. & Seppälä, R. 1984. Polttopuun ja palaturpeen alueittainen tuotanto, jakelu ja käyttö. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, SITRA. Sarja B. nro 76:1—196.
- Kanninen, K. 1980. Pienikokoisen lehtipuun pinomittaus rankana ja kokopuuna. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste 3:1—29.
- , Uusvaara, O. & Valonen, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-tree raw material. *Folia For.* 403:1—53.
- Kärkkäinen, M. 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Summary: Density and moisture content of wood and bark, and percentage in the branches of birch, Norway spruce, and Scots pine. *Silva Fennica* 10(3): 212—236.
- Metsola, E. 1983. Erilaisilla hakkureilla valmistetun metsähakkeen ominaisuudet. Metsäteknologian pro gradu-työ. 72 s.
- Mäkelä, M. 1975. Kanto-, koko- ja oksapuun painotietoja. 3 s. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian osasto.
- 1977. Hakuutähteen ominaisuuksien muuttuminen. Summary: Changes in the quality of logging residues. *Folia For.* 309:1—16.
- Nurmi, J. 1982. Polttohake kuivuu auringon ja tuulen avulla. *Saroilta* 3:22—23.
- 1984. Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa. Summary: Small scale drying of fuel chips in wooden bins. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksessa.
- Nylinder, M. 1982. Sägverksflis. Del 2. Vikter och volymer vid transport. Summary: Sawmill chips. Part 2. Weights and volumes during transportation. *Rapp. Instn. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv.* 129:1—68.
- Olofsson, L. 1975. Värmevärdet för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. *Rapp. Uppsats. Instn. Skogsteknik. Skogshögsk.* 90:1—47.
- Pelikka, M. 1983. Homepölyaltistus polttohakkeen käsittelyn yhteydessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 81:1—76.
- Rajala, P. 1980. Mitä hakkeelle tapahtuu varastossa. *Työtehoseuran metsätiedotus* 1:1—4.
- Savisalo, H. 1982. Hakkeen käyttö taajamien pienkulu- tuksessa. Kotimaisten polttoaineiden alueellisen hyväksikäytön projekti. SITRA. Tutkimusraportti 6:1—82.
- Siltanen, T. 1983. Polttohakkeen laatuvaatimukset eri pienkattilatyypeissä. Osatutkimuksen yhteenveto. Kotimaisten kiinteiden polttoaineiden alueellisen hyväksikäytön kehittäminen -projekti. SITRA. 8 s.
- Simola, P. & Mäkelä, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. *Folia For.* 273:1—18.
- Solantausta, Y. & Asplund, D. 1979. Puun käyttö polttoaineena I. Kirjallisuustutkimus. VTT, poltto- ja voiteluainelaboratorio. Tiedonanto 24:1—133.
- Thörnqvist, T. 1979. Björkens fukthaltsändring och substansförlust vid lagring. *Upps. Instn. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv.* 90:1—25.
- 1982. Lagring av ung salix spp. Summary: Storing of saplings of salix spp. *Rapp. Instn. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv.* 133:1—66.
- 1983a. Bränsleflisens förändring under ett års lagring. Summary: Fuel chips change during one year of storage. *Rapp. Instn. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv.* 148:1—73.
- 1983b. Lagring av sönderdelade hyggesrester. Summary: Storing of disintegrated logging residuals. *Rapp. Instn. Virkeslära. Sveriges Lantbruksuniv.* 137:1—90.
- Uusvaara, O. 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of saw mill chips. *Commun. Inst. For. Fenn.* 75(4):1—55.
- 1978. Teollisuushakkeen ja purun painomittaus. Summary: Weight scaling of industrial chips and sawdust. *Folia For.* 341:1—18.

Total of 38 references

Liite 1. Tutkimuksessa käytetyt leimikko- ja pinokortit.

SITRAN kotimaisten polttoaineliden
alueellisen hyväksikäytön projekti

Hakepuun kuivumistutkimuksen
LEIMIKKOKORTTI
Metsäntutkimuslaitos

LEIMIKKO
n:o _____

Paikkakunta Leimikko

Taimikon harvennus Hakk. alan raivaus

Verhopuuston polsto Paljaaksihakkuu Muu

Metsätyyppi

Puulajisuhteet (ennen hakkuuta),%: Mä Ku

Ko Le Muu

Puusto (ennen hakkuuta), m³/ha

Keskiläpimitta rinnantasalta, cm

Kaatoaika, pvm Kasausaika, pvm Kulj. aika, pvm

Haketusaika, pvm

Puuston kuivumisolosuhteet rasissa: Hyvät Keskin kertaiset Heikot

Huomautuksia

SITRAN kotimaisten polttoaineliden
alueellisen hyväksikäytön projekti

Hakepuun kuivumistutkimuksen
PINOKORTTI
Metsäntutkimuslaitos

PINO
n:o _____

Paikkakunta Leimikko

Puutavaralaji : Kokopuu Ranka Hakk. tähde Pinotavara

Puulajisuhteet, %: Mä Ku Ko Le Muu

Pinon mitat, dm : Pituus Leveys Korkeus p-m³

Varaston kuvaus: Aurinkoinen Puolivarjolsa Varjolsa

Tuulinen Heikkotuulinen Tyyni

Pino katettu, pvm

Pino haketettu, pvm Hakkuri

Lumikerros haketettaessa, cm

Huomautuksia

ODC 323.81 + 831.1
ISBN 951-40-0673-9
ISSN 0015-5543

UUSVAARA, O. 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Abstract: Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures. *Folia For.* 599:1—31.

The moisture content of chip wood piled into grapple heaps was reduced to under 40 % after only two weeks of terrain drying. The average moisture content of the chip wood after the summer period was $39,1 \pm 8,0$ % in ordinary piles and $36,1 \pm 7,6$ % in the piles, covered in the autumn by various covering materials. The loose volume weights of pure alder chips made of whole trees, of mixtures of alder and birch chips, and of birch piled wood were on average, 282, 270, and 298 kg/loose cu.m green, and the dry weights 171, 173, and 186 kg/loose cu.m. Load cover materials designed for use over several years, plastic sheets, and paper covers were tested.

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

ODC 323.81 + 831.1
ISBN 951-40-0673-9
ISSN 0015-5543

UUSVAARA, O. 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Abstract: Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures. *Folia For.* 599:1—31.

The moisture content of chip wood piled into grapple heaps was reduced to under 40 % after only two weeks of terrain drying. The average moisture content of the chip wood after the summer period was $39,1 \pm 8,0$ % in ordinary piles and $36,1 \pm 7,6$ % in the piles, covered in the autumn by various covering materials. The loose volume weights of pure alder chips made of whole trees, of mixtures of alder and birch chips, and of birch piled wood were on average, 282, 270, and 298 kg/loose cu.m green, and the dry weights 171, 173, and 186 kg/loose cu.m. Load cover materials designed for use over several years, plastic sheets, and paper covers were tested.

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

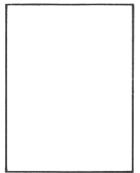
Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

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



Folia Forestalia _____

Communications Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

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

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

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

Punkaharjun jalostuskoegasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

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

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

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

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 585 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kalilannoituksen tarve avosoidille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs.
- No 586 Hakkila, Pentti: Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Metsähake lämpöläitosten polttoaineena Suomessa.
- No 587 Jalkanen, Risto & Kurkela, Timo: Männynversoruosteeseen aiheuttamat vauriot ja varhaiset pituuskasvutappiot. Damage and early height growth losses caused by *Melampsora pinitorqua* on Scots pine.
- No 588 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. investoinnin perusteella. Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory.
- No 589 Paavilainen, Eero: Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps.
- No 590 Metsätilastollinen vuosikirja 1983. Yearbook of Forest Statistics, 1983.
- No 591 Elovirta, Pertti & Ihalainen, Ritva: Metsä- ja maatalousammatit nuorten ammattisuunnitelmissa. Young people's professional plans in forestry and agriculture.
- No 592 Lilja, Arja: Ilmalevintäisen sinistymisen aiheuttajista ja eräiden fungisidien tehosta niiden torjunnassa. Fungi causing air-borne sap stain in wood and efficiency of some fungicides against them.
- No 593 Parviainen, Jari: Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla. The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different ways.
- No 594 Mäki, Elina: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1982. Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1982 by districts.
- No 595 Metsätutkimuslaitoksen julkaisut 1983. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1983.
- No 596 Vuokila, Yrjö, Laasasenaho, Jouko & Ihalainen, Antti: Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus viljelykuusikoissa. The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations.
- No 597 Gustavsen, Hans Gustav & Mielikäinen, Kari: Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Site index curves natural birch stands in Finland.
- No 598 Salo, Kauko: Joensuun ja Seinäjoen asukkaiden luonnonmarjojen ja sienten poiminta v. 1982. The picking of wild berries and mushrooms by the inhabitants of Joensuu and Seinäjoki in 1982.
- No 599 Uusvaara, Olli: Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures.
- No 600 Rubki uhoda. Rezultaty finsko-sovjetskovo sovmešt'novo nautsnovo issledovanija. Harvennuspuun korjuu. Tuloksia suomalais-neuvostoliittolaisesta yhteistutkimuksesta. Thinning operations. Results from Finnish-Soviet joint research study.
- No 601 Veijalainen, Heikki, Reinikainen, Antti & Kolari, Kimmo K.: Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report.
- No 602 Saarsalmi, Anna: Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatica Gigantea'* plantation.
- No 603 Palmgren, Kristina: Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming.
- No 604 Pelkonen, Paavo: Temperature response of electrical impedance in poplar cuttings: A preliminary concept. Poppelipistokkaiden impedanssin riippuvuus lämpötilasta: Alustava malli.
- No 605 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1982–84. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1982–84.
- No 606 Arbetsorganisation i skogsbruket. Slutrapport för ett projekt vid Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd under perioden 1981–1983. The organization of work in forestry. Metsätalouden työorganisaatio.
- No 607 Jokinen, Katriina: Männyn tyvitervastaudin leviäminen ja torjunta harmaaorvakalla (*Phlebiopsis gigantea*) männyn taimikoiden harvennuksessa. The spread of *Heterobasidion annosum* and its control using *Phlebiopsis gigantea* during thinnings in the young stands of Scots pine.
- No 608 Savonen, Eira-Maija: Paakun taimimäärän vaikutus männyntaimien kehitykseen. Effects of seedling density on the development of containerised Scots pine seedlings.
- No 609 Lehto, Tarja: Kalkituksen vaikutus männyn mykorrhisoihin. The effect of liming on the mycorrhizae of Scots pine.
- No 610 Repo, Tapani, Mela, Martti & Valtanen, Jukka: Männynversosyöväille alttiiden ja vastustuskykyisten taimialkuperien erottaminen neulasten ominaisimpedanssin mittauksella. Separation of susceptible and resistant provenances of Scots pine to *Gremmeniella abietina* by specific needle impedance.