

FOLIA FORESTALIA 694

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

ERKKI VERKASALO

METSÄHAKKEEN KOSTEUDEN JA
KUIVAMASSAN MITTAUS
KUORMAOTANTAMENETELMILLÄ

MEASUREMENT OF MOISTURE CONTENT
AND DRY WEIGHT OF FOREST CHIPS BY
LOAD SAMPLING METHODS



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: Director:	Professori Professor	Aarne Nyysönen
Julkaisujen jakelu: Distribution of publications:	Kirjastonhoitaja Librarian	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: Editorial office:	Toimittajat Editors	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 koeasemalla. 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 694

Metsäntutkimuslaitos, Institutum Forestale Fenniae, Helsinki 1987

Erkki Verkasalo

METSÄHAKKEEN KOSTEUDEN JA KUIVAMASSAN MITTAUS KUORMAOTANTAMENETELMILLÄ

Measurement of moisture content and dry weight of forest chips by
load sampling methods

Approved on 17.7.1987

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO	5
21. Tutkimusmenetelmä	5
22. Tutkimusaineisto	6
3. TULOKSET	7
31. Hakkeen kosteuden ja massan mittaamenetelmät	7
311. Kosteuden mittaamenetelmät	7
3111. Yleistä	7
3112. Gravimetriset menetelmät	7
3113. Puun sähköisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät	8
312. Massan mittaamenetelmät	9
32. Hakkeen kosteus	11
321. Kosteuden vaihtelu leimikoiden välillä	11
322. Kosteuden vaihtelu leimikoiden sisällä	13
323. Kosteuden vaihtelu hakekuormien sisällä	14
324. Näytteen koko kuormaotantamittauksessa	16
325. Näytteen koko ja näytteenotto kohta yksittäisessä hakekuormassa	18
33. Hakkeen kuivamassa	20
331. Kuivamassan vaihtelu leimikoiden välillä	20
332. Kuivamassan vaihtelu leimikoiden sisällä	22
333. Näytteen koko paino-otanta- ja irtotilavuusotantamittauksessa	22
4. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	27
5. YHTEENVETO	30
KIRJALLISUUS	32
SUMMARY	34

VERKASALO, E. 1987. Metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan mittaaminen kuormaotantamenetelmillä. Summary: Measurement of moisture content and dry weight of forest chips by load sampling methods. *Folia Forestalia* 694. 35 p.

Tutkimus käsittelee kuormaotantamenetelmien käytönmahdollisuuksia metsäteollisuuden ja lämpölaitosten käyttämän metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan mittaamisessa. Tutkittavat mittausten menetelmät ovat: hakkeen kosteuden kuormaotantamittaus pelkän kosteuden ja painomittauksen yhteydessä suoritettavan kuivamassan määritystä varten, sekä kuivamassan kuormaotantamittaus, kun kaikkien hakekuormien irtotilavuus mitataan, ja irtotilavuuden kuormaotantamittaus, kun kaikki hakekuormat punnitaan ja niistä otetaan kosteusnäyte. Vaihtoehtoiset peruspopulaatiot tutkituissa kuormaotantamenetelmissä ovat tietyn leimikon (ostoerän) hakekuormien ja tietynä aikavälinä toimitettujen hakekuormien muodostamat joukot.

Kosteuden ja kuivamassan mittaustekniikkaa ja laitteita tutkittiin kirjallisuuden perusteella. Empiirisen aineiston perusteella laskettiin kosteuden (879 hakekuormaa) ja kuivamassan (634 hakekuormaa) vaihtelun suuruus eri leimikoilta ja yhdeltä leimikolta ajettujen hakekuormien välillä sekä yksittäisen hakekuorman sisällä (45 hakekuormaa).

Saatujen tunnuslukujen perusteella laskettiin eri kuormaotantamenetelmissä ja erilaisilla mittauksen tarkkuusvaatimuksilla tarvittavat otoskoot ja arvioitiin kuormaotantamenetelmien käytännöllistä tarkoituksenmukaisuutta. Lisäksi tutkittiin yhdestä kuormasta otettavan kosteusnäytteen oton tekniikkaa (tarvittavien näyteyksiköiden lukumäärä, näytteenottoa).

The study deals with the utilization of load sampling methods in the measurement of moisture content and dry weight of forest chips used by forest industry and heating plants. The measurement methods to be studied are: load sampling measurement of the moisture content of the chips for only moisture content determination and for dry weight determination in connection with weight scaling, and load sampling measurement of dry weight, when the loose volumes of all chip loads are measured, and load sampling method of loose volume, when all the chip loads are weight scaled and the moisture content samples are taken from them. Chip loads from certain cutting sites (purchase lots) or the chip loads delivered during a certain period formed alternative populations for the study.

The techniques and equipment for measurement of moisture content and dry weight are studied through literature. The variation of moisture content and dry weight between the chip loads from various cutting sites, between the chip loads from one cutting site, and within one chip load is calculated empirically. A total of 879 chip loads were studied for moisture content, 634 chip loads for dry weight, and 45 chip loads for moisture content variation within one chip load.

The sample sizes needed in various load sampling methods and for various degrees of accuracy required were calculated and the feasibility of performance was estimated on the basis of the indicators calculated above. In addition, moisture content sampling techniques from one load were also studied (number of units needed, sampling point).

Keywords: Timber scaling, scaling of chips, sampling methods
ODC 861.0 + 812.21 + 516

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland. Phone: + 358 0 661 401.

ISBN 951-40-0786-7
ISSN 0015-5543

Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Metsähakkeen arvo sekä polttoaineena että metsäteollisuuden raaka-aineena määräytyy kuivamassan, biomassan koostumuksen ja palakoon perusteella (Hakkila 1984). Ehdottomasti tärkein näistä on kuivamassa. Se määritellään irtotilavuusyksikön sisältämän biomassan kuiva-aineen määräksi, ja sen mittayksikkönä on $\text{kg}/\text{i-m}^3$ (SI-mittayksikköjärjestelmän mukaan irtotilavuus, m^3). Hakkeen kuivamassan mittausta edellyttää tuoremassan (painomittaus) ja kosteuden mittausta tai irtotilavuuden mittausta ja tuloksen muuntamista kuivamassaksi sopivalla muuntoker-toimella. Painomittaus ja kosteusnäytteen otto on suositeltu käytäntöön useissa yhteyksissä (esim. Hakkila 1984, Uusvaara 1986), koska tämä on hakkeen todellisesta käyttöarvosta lähtevä, oikeudenmukainen ja hakkeen laadun parantamiseen kannustava mittaussuunnitelma. Irtotilavuusmittaukselle ja tuloksen muuntamiselle kertoimella kuivamassaksi ei ole nykyisin olemassa käytännön edellytyksiä, sillä luotettavia muuntolukuja, joita tarvittaisiin esimerkiksi puutavaran mittaussäännön (17.11. 1972) mukaisessa vahvistamismenettelyssä, ei ole olemassa.

Kaupallinen metsähake mitataan vielä nykyisinkin yleensä irtotilavuutena yksikkönä irtokuutiometri (i-m^3). Menetelmän tarkoituksenmukaisuus ja tarkkuus riippuvat hakkeen käyttötarkoituksesta ja hakkeen ominaisuuksien vaihtelun suuruudesta.

Metsäteollisuuden raaka-aineeksi tarkoitettuna metsähakkeen osalta ollaan kiinnostuneita hakkeen määrästä irtotilavuutena, kiintotilavuusprosentista (tiiviydestä) ja hakkeen määrän jakaantumisesta ainespuuhun ja ns. lisäraaka-aineeseen. Ainespuulla tarkoitetaan tällöin kuitupuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää puunosaa ja lisäraaka-aineella muita puunosia (pienpuurungot, oksat, latvus, viheraine). Tietoa hakkeen irtotilavuudesta tarvitaan suoranaisesti haketus- ja hakkeen kaukokuljetusmaksujen määräämiseen ja välillisesti hakepuun kantohinnan ja hakkeen kauppahinnan määräämiseen. Irtotilavuus mitataan tavallisesti toimituspaikalla hakeajoneuvon kuormatilan nimellismittojen ja vajauksen tai ylityksen perusteella kuormatilan korkeuteen tehtävän korjauksen pe-

rusteella. On myös tapauksia, joissa korkeuskorjausta ei tehdä, vaan kuormatila täytetään haketuspaikalla ylälaidan tasalle. ”Mittattu” irtotilavuus tarkoittaa tällöin siis irtotilavuutta ennen kuljetusta.

Irtotilavuudesta on mahdollista päästä puukaupassa perinteisesti käytettyyn kiintotilavuuteen hakkuri- ja hakelajikohtaisten muuntolukujen (kiintotilavuusprosentti eli tiiviys) avulla (Uusvaara ja Verkasalo 1987). Kauppa- ja kantohinnan perusteena käytetään lisäksi ainespuun ja lisäraaka-aineen osuutta hakepuun kokonaistilavuudesta, joka saadaan linjoittaisena ympyräkoela-arviointina tehtävän pystymittauksen ja hakkuumiehen suorittaman kaadettujen runkojen lukemisen perusteella (Metsurimittausohje . . . 1986). Hakepuun kokonaismäärätietojen perusteella määrätään myös hakkuupal- kat ja metsäkuljetusmaksut. Korjuun ja kuljetuksen aikana tapahtuvan hävikin vuoksi, joka Mäkelän (1977) mukaan on 2-6 %, pystymittaus- ja runkolukutuloksia ei käytetä suoraan toimitetun hakkeen kiintotilavuuden määräämiseen.

Tehtaita kiinnostavat kuivamassatiedot saadaan tarvittaessa kokemusperäisten, puulajeittaisten muuntolukujen avulla. Metsähakekuormien säännöllistä punnitsemista ei ole pidetty tarpeellisena. Metsähakkeen hankinnan alkaessa 1970-luvun puolivälissä tehtaata tosin punnitsivat koemielessä kaikki hakekuormansa, mutta painomittauksesta luovuttiin pian. Sitä ei käytetty yhdelläkään tehtaalla syksyllä 1986.

Lämpölaitosten polttohakkeen osalta ollaan tilavuuden lisäksi kiinnostuneita kosteudesta, koska se vaikuttaa oleellisesti hakkeen teholliseen lämpöarvoon ja polton hyötysuhteeseen ja koska sitä tarvitaan kuivamassan määrittämisessä. Vaikka kosteutta pidetään ehkä tärkeimpänä polttohakkeen laatuominaisuutena ja vaikka se on myös hinnoitteluperuste monissa toimitussopimuksissa, sitä ei kaikkialla seurata riittävästi. Kun Suomen metsähaketta polttavista lämpölaitoksista 31 % otti v. 1983 kosteusnäytteen kaikista hakekuormista, niin 24 % ei mitannut kosteutta lainkaan (Hakkila 1984).

Kuivamassan mittausta olisi lämpölaitoksil-

la yhtä tarpeellista kuin kosteuden mittaus, mutta sen edellyttämä painomittaus ei ole yleistynyt toivotulla tavalla. Ainoastaan eräät keskimääräistä suuremmat lämpölaitokset, kuten Hyvinkään Lämpövoima Oy, Oulun yliopistollinen keskussairaala ja Liperin osuusmeijeri, punnitsevat kaikki hakekuormat. Syinä nykytilanteeseen ovat sopivan vaakakaluston puute ja sen korkeahko hankintahinta, kuivamassan muuntamisvaikeudet puukaupassa perinteiseksi kiintotilavuudeksi sekä epävarmuus välttämättömän kosteuden mittauksen luotettavuudesta (Hakkila 1984). Saha- ja vanerihakkeen sekä sahanpurun painomittaus on sen sijaan yleistynyt ja sitä käytetään jo ainakin rinnakkaisena mittausmenetelmänä useissa maissa, myös Suomessa (Shepard 1955, Pesez 1957, Bentley 1960, Dobie ja Wright 1972, Okstad 1972a, 1972b, Warren 1972, Uusvaara 1986).

Metsähakkeen kosteus vaihtelee toisaalta hakepuuston ominaisuuksista, kuten puuston iästä ja koosta, puulajisuhteista ja puutavara-lajista ja toisaalta hakepuun käsittelystä, kuten kaatoajankohdasta, kuivatuksesta (rasissa, kourakasoissa tai välivarastopinoissa), välivarastopinojen peittämisestä sekä varastoinnin ja haketuksen aikaisista sääoloista riippuen (Uusvaara 1984). Tätä aihepiiriä on tutkittu varsin perusteellisesti useissa yhteyksissä (mm. Hakkila 1962, 1963, 1984, Bergman 1973, Gislrud 1974, Olofsson 1975, Simola ja Mäkelä 1976, Kanninen ym. 1979, Thörnqvist 1979, 1982, 1983a, 1983b, Björklund 1983, Uusvaara 1984, Uusvaara ja Verkasalo 1987). Teollisuushakkeen ja sahanpurun osalta samasta aiheesta on samoin runsaasti tutkimuksia (Uusvaara 1969, 1971, 1972a, 1972b, 1974, 1986, Nylinder, P. 1972, Hakkila 1972, Pekkala 1972, Saukkonen 1972, Nylinder, M. 1982). Kosteuden vaihtelua esiintyy myös yksittäisen hakekuorman sisällä. Tätä aihetta on tutkittu suhteellisen vähän (sahanhakeella Nylinder, P. 1958, Uusvaara 1978; metsähakeella Nisula 1960, 1961, Heiskanen 1963, Laine ja Haapasalo 1981). Tutkimuksissa on esitetty tarvittavat näytemäärät ja näytteenottomenetelmät pyrittäessä tiettyyn kosteuden mittauksen tarkkuuteen. Aineistot eivät ole kuitenkaan käsittäneet kokopuu- ja hakkuutähdehaketta, jotka ovat pääasialliset nykyisin korjattavat metsähakelajit.

Metsähakkeen kuivamassa vaihtelee kosteuden vaihtelua aiheuttavien tekijöiden lisäksi hakkurin sekä kaukokuljetuskaluston

ja -matkan mukaan. Tätä aihepiiriä ovat laajimmin tutkineet Kanninen ym. (1979), Metsola (1983), Uusvaara (1984) sekä Uusvaara ja Verkasalo (1987).

Kaikki nykyisin käytössä olevat metsähakkeen mittausmenetelmät perustuvat kuormamittaukseen ts. hakkeen määrä selvitetään käyttämällä mittayksikkönä kuormaa tai muuta vastaavaa kuljetusyksikköä, jotka kaikki mitataan samalla menetelmällä. Mittaus voitaisiin mahdollisesti suorittaa myös kuormaotantaa käyttäen määrittämällä koko hake-erän irtotilavuus jollakin yksinkertaisella menetelmällä ja suorittamalla varsinainen mittaus ainoastaan muutamista hakekuormista koostuvasta näytteestä. Näytteen mitaustulos voitaisiin edelleen muuntaa koko erää koskevaksi tilastotieteen menetelmillä.

Metsähakkeen kosteuden määrittäminen ottamalla kaikista hakekuormista omat kosteusnäytteensä on suhteellisen työläs menetelmä, sillä näytteitä kertyy varsinkin hakkeen käytön huippuaikana runsaasti (lämpölaitoksella jopa 10—50 näytettä/vrk kokoluokasta riippuen, sellutehtaalla ehkä 20—50 näytettä/vrk). Näytteiden kuivatus lämpökaapissa on lisäksi hidasta (kuivatusaika 1 vrk 103°C lämpötilassa). Kuormaotannan käyttö kosteusnäytteen otossa voisi näistä syistä olla perusteltua. Hakkeen painomittauksella tapahtuva kuivamassan määrittäminen edellyttää myös kosteuden määrittystä. Otannan käyttö sekä tässä että hakekuormien punnitsemisessä vähentäisi tarvittavaa työ-määrää. Menetelmä edellyttäisi tässä muodossa kaikkien kuormien irtotilavuuden mittauksen.

Otannan käytön tarkoituksenmukaisuus riippuu vastaanoton järjestelyistä. Lähes kaikilla metsäteollisuuslaitoksilla on nykyisin oma autovaaka, jolla hakekuormien punnitseminen tapahtuu nopeasti ja vaivattomasti. Mikäli ajoneuvon ei tarvitse jonottaa vaa'alle, kuorman punnitseminen ei aiheuta lisäajanmenekkiä pelkkään irtotilavuuden mittaukseen verrattuna. Eräissä tapauksissa punnitus saattaa tapahtua jopa nopeammin kuin irtotilavuuden mittaus. Useimmilla lämpölaitoksilla ei ole omaa autovaakaa, joten käyttääkseen hakkeen painomittausta niiden on ostettava ulkopuolisia vaakapalveluja. Tämä aiheuttaa paitsi huomattavaa lisäajanmenekkiä myös lisäkustannuksia (v. 1986 30—50 mk/kuorma). Voidaan olettaa, että otannan käytöstä hakekuormien punnitsemisessä olisi tässä mielessä enemmän hyö-

tyä lämpölaitosten polttohakkeen mittauksessa kuin metsäteollisuuden hakkeen mittaauksessa.

Arvioitaessa kuormaotantamenetelmien soveltuvuutta metsähakkeen mittaukseen on mittaustarkkuus käytännön toteutusmahdollisuuksia ja kustannuksia tärkeämpi kriteeri. Otoksiko määräytyy tarkkuusvaatimuksen ja kuormien välisen vaihtelun perusteella. Mikäli vaihtelut ovat hyvin suuria, saattavat tarvittavat otokset olla varsinkin pienillä mittattavilla erillä niin suuria, että otannan käyttö ei ole tarkoituksenmukaista.

Tässä tutkimuksessa käydään aluksi läpi hakkeen kosteuden mittausta ja hakkeen punnitsemista varten käytettävissä olevat menetelmät ja laitteet kirjallisuuden perusteella. Empiirisen osan ensisijaisena päämääränä on selvittää metsähakkeen kosteuden vaihtelu eri leimikoilta ajettujen, yhdeltä leimikolta ajettujen ja kaikkien hakekuormien välillä sekä yksittäisen hakekuorman sisällä ja siitä purettaessa syntyvässä hakekassassa. Saatujen tunnuslukujen avulla laskeaan tarvittavan kosteusnäytteen koko kuormaotantaa sekä yhden hakekuorman

kosteuden ja kuivamassan määrittystä varten ja arvioidaan näytteen kokoon vaikuttavien tekijöiden merkitystä. Toisena päämääränä on selvittää metsähakkeen kuivamassan vaihtelu hakekuormien välillä. Tulosten perusteella pyritään arvioimaan paino-otantamittauksen käytännön toteutusmahdollisuudet sekä miten paljon kosteusnäytteen otosta mahdollisesti aiheutuva virhe vaikuttaa kuivamassan mittaustulokseen.

Tutkimuksen empiirisen aineiston keruun mahdollisti lukuisien metsähakkeen hankkijoiden ja käyttäjien myönteinen suhtautuminen ja tekninen apu. Aineiston keruussa avustivat Tapio Järvinen, Tapio Nevalainen ja Jukka Pietilä sekä Erkki Salo työryhmineen. Tulosten laskennassa avusti Hannu Aaltio. Tilastollisia menetelmiä koskeneissa tutkimusvaiheissa antoi arvokkaita neuvoja VTL Timo Pekkonen. Kuvat piirsi Leena Muronranta. Tekstinkäsittelystä huolehtivat Maija Tuuri ja Heidi Koskinen ja teknisestä muokkauksesta Pirkko Kinanen ja Raija Siekkinen.

Käsikirjoituksen lukivat professorit Olli Uusvaara ja Pentti Hakkila ja MMT Pertti Harstela Metsäntutkimuslaitokselta sekä vt. prof. Martti Saarilahti ja vt. apul. prof. Esko Mikkonen Helsingin yliopiston metsätekniikan laitokselta.

Kaikille tutkimuksen tekoon osallistuneille esitän parhaat kiitokseni.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

2.1. Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen kenttätyöt suoritettiin metsähakkeen käyttäjien normaalin puunhankinnan yhteydessä v. 1983–85. Aineiston keruussa oli perusyksikkönä hakekuorma, jolla tarkoitettiin yhtenä kokonaisuutena mitattavissa ja punnittavissa ollutta kuormaa tai sen osaa. Hakekuormat punnittiin kiinteällä ajoneuvovaa'alla sekä kuormineen että tyhjänä. Kuormien kehystilavuudet mitattiin kuljetuksen jälkeen kuormatilojen nimellimittojen sekä 10 kohdasta mitattujen yläreunan vajauksien ja ylitysten keskiarvon perusteella.

Jokaisesta hakekuormasta otettiin 20 kosteusnäytettä hakevirrasta kuorman purkamisen yhteydessä tai, ellei tämä ollut mahdollista, puretusta hakekassasta. Nämä sekoitettiin astiassa tai säkissä ja näin saadusta hakeesta otettiin kuormakohtainen kosteusnäyte, jonka perusteella määritettiin kuormakohtainen hakkeen kuivamassa. Osoittautui kuitenkin, että erikokoiset hakepalat ja talvella lumi ja jää lajittuivat haketta säkissä sekoitettaessa sen pohjalle, jolloin pidettiin parempana kerätä kuormakohtainen kosteusnäyte suoraan hakekassan eri osista. Yhdestä satunnaisesti valitusta kuormasta leimikkoa kohti otettiin 20 kpl yhden litran suuruisia kosteusnäytteitä Uusvaaran (1978) kuvailemalla menetelmällä kuorman sisäisen kosteuden vaihtelun selvittämiseksi.

Metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan vaihteluun vaikuttavien tekijöiden selvittäminen oli tutkimuksen kannalta välttämätöntä. Tarpeelliset leimikkokohtaiset puusto- ja korjuutiedot hankittiin ensisijaisesti pystymittaus- ja korjuusunntielmatiedoista. Muiden kuin metsäteollisuusyritysten hankkimien leimikoiden osalta jouduttiin turvautumaan hakepuupinojen arviointiin metsävarastossa sekä hankinnasta vastanneiden työjohtajien haastatteluihin. Tärkeimmät leimikoiden puusto- ja korjuutiedot olivat:

- puulajisuhteet, % hakettavan puuston tilavuudesta
- hakettavan puuston rinnankorkeusläpimita, cm
- hakkuutapa ja korjuumenetelmä
- kaatoaika
- hakepuun kuivatusaika rasissa, palstalla ja/tai välivarastossa
- kaukokuljetuskalusto ja -matka
- tien laatu

Kosteusnäytteet käsiteltiin Metsäntutkimuslaitoksen laboratoriossa Helsingissä. Näytteet kuivattiin lämpökaapissa Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa laadittujen ohjeiden mukaisesti (Nieminen ja Ranta 1982).

Hakekuormien kosteuden vaihtelu leimikoiden välillä ja sisällä laskettiin hakelajin (puu- ja puutavaralaji), hakepuun kuivusasteen (tuore, kesävarastoitu, ylivuotinen) ja haketusvuodenajan (kesä = sulan puun aika,

talvi = jäätyneen puun aika) mukaista ryhmittelyä käyttäen. Hakepuu katsottiin:

- tuoreeksi, jos kuivatusaika oli korkeintaan 3 viikkoa
- kesävarastoiduksi, jos kuivatusaika oli yli 3 viikkoa mutta ei koko kevättä, kesää ja syksyä
- ylivuotiseksi, jos kuivatusaika oli vähintään yhden kokonaisen kevään, kesän ja syksyn.

Hakekuormien sisäisen kosteuden vaihtelun suuruus laskettiin erikseen kuorman päältä ja peräosasta sekä hakekasasta otetuille näytteille että eri tavalla puretuille kuormille (kippaus taakse, kippaus sivulle, purku kola-kuljettimella). Lisäksi vertailtiin toisiinsa samasta kuormasta otetun varsinaisen kosteusnäytteen ja 20 osanäytteen perusteella saatuja tuloksia. Näin saatujen tunnuslukujen avulla laskettiin:

1. Kuinka monesta samaa hakelajia ja kuivusastetta olevasta kuormasta on otettava kosteusnäyte, jotta hakkeen kosteus saadaan määritettyä tietyllä tarkkuudella (leimikkojaosta ei välitetä).
2. Kuinka monesta yhdeltä leimikolta ajetusta kuormasta on otettava kosteusnäyte, jotta ko. leimikon hakkeen kosteus saadaan määritettyä tietyllä tarkkuudella.
3. Kuinka monta 1—2 dm³ näyteyksikköä kuormasta ja/tai hakekasasta on otettava, jotta ko. kuorman kosteus saadaan määritettyä tietyllä tarkkuudella.

Otoskoot laskettiin tapauksissa 1 ja 2 Lönnerin (1966) rajoittamatonta satunnaisotantaa varten esittämällä kaavalla:

$$n = \frac{Nt^2 + V^2}{Nd^2 + t^2V^2} \quad (1)$$

missä

- n = otoskoko, hakekuormia, kpl
- N = populaation koko, hakekuormia, kpl
- t = 95 %:n todennäköisyystasoa vastaava t-jakauman arvo tutkimusaineistossa
- V = kosteuden variaatiokerroin tutkimusaineistossa
- d = sallittu virhe keskikosteudessa, %

Tapauksessa 3 otoskoot laskettiin esim. Liedeksen ja Mannisen (1975) esittämällä kaavalla:

$$n = \frac{(100 st)^2}{dk} \quad (2)$$

missä

- n = otoskoko, näyteyksiköitä kpl
- s = kosteuden keskihajonta kuormassa ja/tai hakekasassa
- t = 95 %:n todennäköisyystasoa vastaava t-jakauman arvo kuormassa ja/tai hakekasassa
- d = sallittu virhe keskikosteudessa, %
- k = kosteuden keskiarvo kuormassa ja/tai hakekasassa.

Tapauksen 3 tulosten perusteella arvioitiin lisäksi, mistä kuorman ja/tai hakekasas osasta kosteusnäyte on otettava ottaen huomioon mittaus tuloksen tarkkuus ja tarvittavien näytteiden lukumäärä.

Hakekuormien kuivamassan vaihtelu leimikoiden välillä ja sisällä laskettiin hakkurin, hakelajin, hakepuun kuivusasteen ja haketusvuodenajan mukaisissa ryhmissä. Näin saatujen tunnuslukujen avulla laskettiin kaavalla 1, kuinka monta kuormaa leimikkoa kohti on punnittava mahdollisessa paino-otantamittauksessa. Lisäksi laskettiin mahdollisen kosteuden mittausvirheen vaikutus kuivamassan mittaustulokseen.

22. Tutkimusaineisto

Leimikoiden välisen ja sisäisen kosteuden vaihtelun laskennassa käytetty aineisto käsitti yhteensä 879 hakekuormaa 134 leimikolta. Kuivamassan vaihtelun laskennassa käytetty aineisto käsitti yhteensä 634 hakekuormaa 84 leimikolta. Hakkeen käyttöasteita oli kaikkiaan 17, joista neljässä hake käytettiin sulfaattiselun ja yhdessä lastulevyn raaka-aineeksi sekä kahdessa toista lämpöenergian tuotantoon. Hake tehtiin 9 erimerkkisellä hakkurilla 10 eri hakepuutavaralajista. Puolet aineistosta kertyi harvennusleimikoista, neljäsosa avohakkuuleimikoista ja neljäsosa muista leimikoista (ylispuuhakkuut, taimikon perkaukset, hakkuualan rai-vaukset ja hakkuutähteiden korjuut). Kokopuumenelmällä korjattiin 65 % sekä tavaralaji- ja osapuumenelmillä kummallakin vajaa 15 % hakepuusta. Hakkuutähteiden korjuun osuus oli alle 10 %.

Hakekuormista sisälsi 32 % tuoreesta, 15 % kesävarastoidusta ja 52 % ylivuotisesta puusta tehtyä hakeetta. Metsäteollisuuden raaka-aineeksi tarkoitettu hakepuu oli kaadettu pääasiassa syksyllä. Polttohakepuu oli kaadettu pääasiassa keväällä, usein rasiin. Metsäteollisuuden hake oli tehty huomattavasti tuoreemmasta puusta kuin polttohake:

	Varastointiaika, kk		
	Rasissa tai palstalla kourakousoissa	Väli-varastossa	Yhteensä
Polttohake	2,0	14,8	16,8
Metsäteollisuuden hake	0,1	6,4	6,5
Keskimäärin	1,2	11,2	12,4

Hakkeen kaukokuljetusmatka oli 2—152 km, keskimäärin 39,8 km. Hakekuormista oli 52 % täysperävau-nuautojen vetoauto- ja perävauukuormia, 42 % nup-piautokuormia ja 6 % traktorikuormia. Kuormien keskikoot olivat vastaavasti 53,6, 27,6 ja 26,4 i-m³.

Kuormien sisäisen kosteuden vaihtelun laskennassa käytetty aineisto käsitti 45 hakekuormaa yhtä monelta leimikolta. Kuormista sisälsi 46 % tuoreesta, 21 % kesävarastoidusta ja 33 % ylivuotisesta puusta tehtyä hakeetta. Kuormat jakautuivat hakelajin ja kuorman purkumenetelmän mukaan seuraavasti:

	Kippaus taakse	Kippaus sivulle	Purku kola-kuljettimella	Yht.
Havukokopuu hake	6	1	7	14
Lehtikokopuu hake	8	1	10	19
Ranka- ja kuitupuu hake	5	—	1	6
Hakkuutähde hake	2	—	4	6
Yhteensä	21	2	22	45

3. TULOKSET

31. Hakkeen kosteuden ja massan mittaussmenetelmät

311. Kosteuden mittaussmenetelmät

3111. Yleistä

Erityisesti kokopuu- ja hakkuutähdehake eroavat useimmista muista massa-artikkeleista hakkeen rakenteen ja biomassan koostumuksen epähomogeenisuuden sekä kosteuden suuren vaihtelun suhteen. Hakkeen palakoko vaihtelee purumaisesta aineksesta puukapuloihin ja oksanpätkiin. Kokopuu- ja hakkuutähdehake sisältää puuaineen lisäksi kuorta ja viherainetta, joiden välillä on tiheys-, väri- ja muotoeroja. Talvella hake on usein jäässä ja se sisältää irrallista lunta ja jääpaloja. Nämä tekijät aiheuttavat hakkeen kosteuden mittaukselle erityisvaatimuksia.

Painomittaus edellyttää tarkkaa ja nopeaa kosteuden mittaussmenetelmää. Tällaiseksi voivat soveltua periaatteessa samat menetelmät, joita käytetään muiden massa-artikkeleiden kosteuden mittaukseen. Nykyisin käytössä olevia kosteusmittareita on kehitelty alunperin metsäteollisuudessa pääasiassa massa- ja pape-ritehtaiden laadunvalvontaa varten (Magnusson ym. 1972). Sahatavaran ja puulevytuotteiden kosteuden tarkkailuun on tarvittu laitteita lähinnä tuotteiden pilaantumisen estämiseksi (Loos 1965, Marshall 1966, James 1975, Palka ja Hejjas 1976). Polttoturvetuotantoa varten on suunniteltu useitakin kosteusmittareita (esim. Laine ja Haapasalo 1981, Sandman 1984). Mainittakoon lisäksi maatalouden tarpeita varten kehitetyt, lähinnä viljan, heinän ja rehun kosteuden mittaamiseen tarkoitetut laitteet (esim. Laitinen ja Mäkelä 1983). Näille laitteille on tyypillistä, että ne toimivat tavallisesti vain hyvin rajoitetulla kosteusalueella. Niiltä ei käyttötarkoituksesta johtuen edellytetä kovin suurta mittaustuloksen tarkkuutta (Uusvaara 1978).

Magnusson ja Konradsson (1971) ovat tutkineet kaikkiaan 12 erilaista hakkeen kosteuden mittaussmenetelmää. Muita kokeiluja ovat edellä jo mainittujen lisäksi tehneet Kajanne ja Hollming (1958), Gibson ja Rusten (1964), Richesson ym. (1967), Rijdsijk (1969), Lund-

ström (1970), Halinen ja Nissi (1984) sekä Hyytiäinen (1984). Useimmat esitetyistä menetelmistä ovat hyvin tunnettuja, mutta kaikkia ei ole vielä riittävästi tutkittu. Valitettavasti kaikissa kohtalaisen nopeissa menetelmissä on ilmennyt puutteita, jotka johtavat ympäristön lämpötilan sekä näytteen kosteuden, tiiviyyden ja tiheyden vaihtelusta aiheutuviin virheisiin (Uusvaara 1978). Menetelmien käyttö edellyttää lisäksi usein hakkeen jauhamisen ja homogenisoinnin, mitkä toimenpiteet saattavat alentaa näytteen kosteutta alkuperäisestä arvostaan.

Hakkeen kosteus voidaan mitata yhdessä tai kahdessa vaiheessa, jolloin erona on se, mitataanko kosteus suoraan vai mitataanko näytteen sisältämän kuiva-aineen ja veden massa erikseen (Kärkkäinen 1977). Puun sähköisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät ovat yksivaiheisia ja gravimetriaan perustuvat kaksivaiheisia. Menetelmät voidaan jakaa myös toimintaperiaatteen mukaan jatkuva-toimisiin ja eräkäyttöisiin (Uusvaara 1978). Jatkuvatoimisia menetelmiä käytetään ennen kaikkea sellutehtaiden keittimien täyttösuh-teen seurantaan optimisaannon varmistamiseksi.

3112. Gravimetriset menetelmät

Lämpökaappimenetelmä on perinteinen ja nykyäänkin yleisin hakkeen ja sahanpurun kosteuden mittaussmenetelmä (Uusvaara 1978). Menetelmä on standardisoitu Tappi- ja Appita-standardeissa (Magnusson ja Konradsson 1971), ja se on hyväksytty tislauksmenetelmän (Kajanne (1957), Kollman ja Höckele (1962), Report of . . . (1970)) ohella kuitupuuhakkeen kosteuden mittaussmenetelmäksi (Keller ja Lauer 1970). Hakenäytteen massa mitataan tuoreena, näyte kuivataan lämpökaapissa n. 103°C lämpötilassa yhden vuorokauden ajan, näytteen massa mitataan kuivana ja kosteus lasketaan tuore- ja kuivamassan erotuksen perusteella. Menetelmän suurimmat heikkoudet ovat hitaus ja työläys. Muita haittapuolia ovat Kärkkäisen (1977) ja Uusvaaran (1978) mukaan näytteiden säilytysvaikeudet, sekä lämpötilan vaihtelun (95—105°C), kuiva-

tusaikojen vaihtelun ja ympäristön vaikutus tuloksiin. Menetelmä antaa helposti liian korkeita kosteustuloksia, sillä hake sisältää muitakin kuivatuksessa haihtuvia aineita kuin vesi, esim. terpeenä. Kokonaisvirhe hakkeen kosteudessa on Magnussonin ja Konradssonin (1971) mukaan $-0,7 - +1,5$ %-yksikköä.

Edellistä huomattavasti nopeampi hakkeen kosteuden mittaamenetelmä perustuu laitteeseen, jossa käytetään hyväksi kuumaa ilmavirtaa kuivumisen nopeuttamiseksi. Mittauksessa, joka kestää alle 40 minuuttia, tutkitaan ilmavirtauksessa mittauksen aikana tapahtuvia lämpötilamuutoksia (Keller ja Lauer 1970). Lämpötilaerojen perusteella ratkaistaan, milloin näyte on kuiva. Tarkkuus on sama kuin lämpökaappimenetelmässä (Magnusson ja Konradsson 1971). Menetelmä sopii kuitenkin vain laboratoriokäyttöön.

3113. Puun sähköisiin ominaisuuksiin perustuvat menetelmät.

Puun kosteutta voidaan mitata sähkövastuksen avulla. Kosteus pienentää puun ominaisvastusta, minkä johdosta sähköjohtavuus kasvaa (Kärkkäinen 1977). Sähkövastukseen perustuvia mittareita on käytetty pääasiassa puutavaran ja vanerin kosteuden mittaukseen. Käytännössä tällaiset mittarit eivät ole erityisen tarkkoja ja niillä hallitaan vain kapea kosteusalue (7—30 %, Hyytiäinen 1984). Tarkkuuteen vaikuttavat kosteus, lämpötila, puulaji ja kosteuden jakaantuminen näytteessä (James 1975, Kärkkäinen 1977). Hakkeen kosteuden mittauksessa aiheuttaa lisävaikeuksia se, että mittaaselektrodilla täytyy olla koko ajan kiinteä yhteys mitattavaan materiaaliin (Magnusson ja Konradsson 1971). Pintatasolta kosteutta mittaavien elektrodien käyttö sähkövastuksen mittaamiseen ei Jamesin (1975) mukaan ole yleensä mahdollista.

Puun dielektrisiin ominaisuuksiin perustuvat kosteusmittarit rakentuvat sille ajatukselle, että puuaineen dielektrisyysvakio, joka on dielektrisyyspitoisuuden ja häviötangentin summa, kasvaa puuaineen kosteuden kasvaessa annetulla vaihtovirran taajuudella (Skaar 1972). Dielektriset kosteusmittarit antavat käytännössä tarkempia tuloksia kuin sähkövastusmittarit. Ne toimivat tavallisesti radio- ja mikroaaltotaajuuksilla. Dielektrisyysvakion

mittaukseen perustuvia mittareita ei nykyisin juuri käytetä (Kärkkäinen 1977). Mittarit ovat joko kapasitanssi- tai tehohäviömittareita.

Kapasitanssimittareilla mitataan permittiivisyyden ja kosteuden välistä riippuvuutta. Niiden on todettu olevan käyttökelpoisia hakkeen kosteuden mittauksessa edellyttäen, että hake ei ole jäässä (Magnusson ja Konradsson 1971). Tämä johtuu siitä, että suhteellinen permittiivisyys on vedellä ja jäällä paljon korkeampi (n. 80) kuin kuivalla hakkeella (n. 3). Kapasitanssi ilmoittaa varsinaisesti kappaleen sähkönvaraamiskyvyn. Hakkeen kosteuden mittauksessa kapasitanssiin vaikuttaa kuitenkin puuaineen ominaisvastus eli resistiivisyys, jonka vaikutus riippuu häviötangentin suuruudesta. Tätä haittavaikutusta voidaan vähentää käyttämällä kosteusmittarissa sopivaa taajuutta. Hakkeen tiiviyys ja puuaineen tiheys vaikuttavat mittaustulokseen. Puulaji ei yleensä vaikuta, mikäli puuaineen tiheys on vakio (Kärkkäinen 1977). Hakkeen tiiviyys- ja tiheysvaihteluiden aiheuttamaa virhettä voidaan vähentää gammasäteilyn avulla (Magnusson ja Konradsson 1971). Erästä tällaista laitetta käytetään ottamalla laitteeseen ruuvikuljettimen avulla sivuvirta hakkeen päävirrasta. Tällainen mittari on tarkoitettu lämpötila-alueelle $+1 - +50^{\circ}\text{C}$, jolloin kosteuden mittaustarkkuus on ± 1 %-yksikköä (Magnusson ja Konradsson 1971). Ruotsalaisessa FOLAB-järjestelmässä käytetään kapasitanssimittaria hakepuukuormasta otettavan kairanlastunäytteen kosteuden mittaukseen (Nya . . . 1984). Menetelmällä voidaan määrittää kairanlastunäytteen kosteus ± 4 %:n tarkkuudella ja koko mittaustoimitus kestää vain 4—15 min.

Tehohäviömittareilla mitataan sekä permittiivisyyden että häviötangentin riippuvuutta puuaineen kosteudesta. Tehohäviömittareista on kehitetty mikroaaltotekniikka. Tekniikalle on tyypillistä korkea taajuusalue (0,3—300 GHz), millä alueella esiintyy myös vesimolekyylin maksimivirran absorptiotaajuus 22,235 GHz (aallonpituus 1,35 cm) (Skaar 1972). Tekniikan ideana on hakkeen dielektristen ominaisuuksien voimakas riippuvuus veden esiintymisestä, mikä puolestaan riippuu vesimolekyylin polarisaatiosta vaihtelevassa sähkökentässä. Menetelmällä on samat käyttöaluerajoitukset kuin kapasitanssimenetelmällä. Magnussonin ja Konradssonin (1971) mukaan mikroaaltotekniikka massan mittauksen kanssa käytettynä antaa hakkeen kosteuden $\pm 1,5$ %-yksikön tarkkuudella 15—50 %:n kosteusalueella.

Hyytiäinen (1984) on tutkinut AVC-analysointia, jossa on yhdistetty hakenäytteen kuivatus mikroaalloilla ja mittaustuloksen siirto ja käsittely digitaalisessa muodossa mikro-tietokoneella. Kosteuden mittauksen tarkkuus oli 0,5—1 %-yksikköä. Menetelmä edellyttää hakkeen jauhamisen antaakseen luotettavia tuloksia.

Infrapuna-aaltojen hyväksikäyttö hakkeen kosteuden mittauksessa perustuu siihen veden ominaisuuteen, että säteily absorboituu veteen erittäin tehokkaasti tietyllä aallonpituusalueella (Kärkkäinen 1977). Mittaamalla näytteestä takaisin heijastuvan säteilyn voimakkuus voidaan päätellä veden määrä näytteessä. Infrapuna-aallot tunkeutuvat kuitenkin vain noin yhden millimetrin pintakerrokseen puussa, joten pintakosteus vaikuttaa huomattavasti mittaustulokseen (Magnusson ja Konradsson 1971). Käytännöllisissä sovellutuksissa ei Kärkkäisen (1977) mukaan päästä kovin suureen tarkkuuteen. Etuna on, että veden jäätyminen ei vaikuta oleellisesti tuloksiin.

Laine ja Haapasalo (1981) ovat todenneet, että infrapuna-aaltoihin perustuvalla Pier-Electronic-kosteusmittarilla voidaan mitata suhteellisen pieniä kosteuspitoisuuksia, kun käytetään aallonpituutta 1940 mm. Mittariin on mahdollista liittää erilaisia aallonpituusuo- timia mitattavan materiaalin mukaan. Kokei- lussa saatiin parhaat tulokset kosteusalueella 20—40 %. Kosteuden laskiessa tätä al- haisemmaksi tulokset eivät olleet enää luotetta- via, mutta kosteuden noustessa tätä korke- ammaksi tulokset olivat vielä jokseenkin tark- koja. Hakepalojen värisävy ja mittaustaikan valoisuus vaikuttivat huomattavasti mittaustu- lokseen.

Sandman (1984) on todennut, että infrapu- na-aaltoperiaatteella toimiva P.T.-53 -kos- teusmittari ei sovellu tavallisen, lämpökeskuk- sissa käytettävän hakkeen kosteuden mittauk- seen liian suuren palakoon vuoksi. Jos tutkit- tava hakenäyte hienonnetaan leikkaavalla myllyllä, mittari on käyttökelpoinen. Samoin sitä voidaan käyttää tasaisen kostean kuoripu- risten kosteuden mittaukseen.

Neutronigammasäteilyn avulla tapahtuva kosteuden mittaaminen perustuu veden vetyatomi- en aiheuttamaan nopeiden neutronien liike- energian pienemiseen. Nopeita neutroneja tuottavan lähteen lähelle syntyy hitaiden neu- tronien muodostama pilvi, jonka tiheys riip- puu vedyn määrästä tässä tilassa eli kosteude- sta tilavuusyksikköä kohti (Halinen ja Nissi 1984, Halinen ym. 1985). Neutronigammasä-

teilymittarin näyttämä on likimain suoraan verrannollinen aineen kosteuteen tilavuuspro- sentteina. Kosteus painoprosenteina saadaan tiheyskorjauksen avulla, joka voidaan mitata kosteuden kanssa samanaikaisesti gammasä- teilyn avulla. Halisen ja Nissin (1984) mukaan on mahdollista laatia eri hakelaaduille käyräs- töt, joiden avulla mittarin osoittama kos- teusjännite muunnetaan kosteudeksi. Tällaisel- la mittarilla hakkeen kosteus voidaan mitata 0—80 %:n kosteusalueella ± 1 %-yksikön tarkkuudella (Magnusson ja Konradsson 1971). Tarkkuus riippuu näytteenottomene- telmästä ja tiheyskorjauksen oikeellisuudesta. Menetelmän etuna on mahdollisuus mitata myös jäätyneitä haketta.

Suurimpaan tarkkuuteen hakkeen kosteu- den mittauksessa ($-0,6$ — $+2,4$ %-yksikköä) on päästy ydinmagneettisen resonanssin (NMR, nuclear magnetic resonance) periaat- teella toimivalla mittarilla (Magnusson ja Konradsson 1971, Magnusson ym. 1972, Hugnes 1977). Menetelmä perustuu molekyy- lien käyttäytymiseen magneettikentässä, jonne sähkömagneettinen energia tuodaan radioaal- totaajuudella. Käytännössä NMR-tekniikkaa sovelletaan usein kaksivaiheisena, jolloin näyt- teen massa täytyy mitata tarkasti (Kärkkäinen 1977). NMR-tekniikan etuja ovat erittäin laa- jan kosteusalueen hallinta, tulosten riippumat- tomuus ympäristön lämpötilasta, puuaineen tiheydestä ja kemiallisesta koostumuksesta se- kä mittauksen nopeus (30 sekuntia) (Nanassy 1973). Heikkoutena on pieni näytteen koko, vain 30 ml, mikä heikentää tulosten luotetta- vuutta. Käytännön kokemuksia NMR-tek- niikasta hakkeen kosteuden mittaukseen sovel- lettuna on erittäin vähän (Kärkkäinen 1977).

Jäppisen (1983) mukaan käytössä on radio- aktiivisuuden perustuva kosteusmittari, jossa periaate on samanlainen kuin neutronigam- masäteilymittarissa. Tällä mittarilla voidaan hakkeen kosteus mitata $\pm 1,5$ %-yksikön tark- kuudella erikoisrakenteista anturia käyttäen.

312. Massan mittaaminen menetelmät

Hakkeen massan mittaaminen edellyttää pun- nitsemistä. Tällä tavalla saatu tuoremassa muunnetaan kuivamassaksi kuiva-ainepitoi- suuden avulla. Punnitseminen voi kohdistua koko hakekuormaan tai siitä määrätynmuo-

toiseen ja -kokoiseen mitta-astiaan otettuun näytteeseen. Punnitsemisen tarkkuuden on puutavaran mittaussäännön (17.11.1972) mukaan täytettävä seuraavat vaatimukset:

Puutavaran paino	kg	Mittaustarkkuus
— 1 000		1
1 000 — 10 000		10
10 000 —		50 tai 100

Vaakatyypistä riippuu, pystytäänkö nämä vaatimukset täyttämään. Käytettävissä on kiinteitä ja siirrettäviä, mekaanisia ja hydraulisia (nestetoimisia) vaakoja.

Puutavaran tehdasvastaanottomittauksessa käytetään vain kiinteitä ajoneuvovaakoja. Ne olivat aikaisemmin mekaanisia mutta nykyisin lähes yksinomaan hydraulisia, digitaalinäytöllä ja suoralla tietokoneyhteydellä varustettuja vaakoja. Mittaustulos saadaan mekaanisilla vaa'oilla 1,5 tai 10 kg ja hydraulisilla vaa'oilla 10 tai 50 kg tarkkuudella. Kiinteän ajoneuvovaa'an luotettavuutta voidaan pitää hyvänä, koska anturina on yksi metallilevy, jonka päällä punnittavan ajoneuvon kaikki pyörät ovat punnitsemishetkellä. Edellytyksenä on, että vaaka kalibroidaan määrääjain ja että lumi ja jää poistetaan talvella sen pinnalta riittävän usein.

Siirrettäviä ajoneuvovaakoja käytetään Suomessa lähinnä teiden kantavuustutkimuksissa (TVH) ja ulkomailla suurimpien sallittujen akseli- ja kokonaispainojen valvonnassa. Puutavarakuormien mittauksissa niitä ei nykyisin käytetä Suomessa. Siirrettävät ajoneuvovaa'at ovat akselipainovaakoja, joilla mitataan erikseen eri pyörien tai pyöräparien kuormitukset. Yleensä punnitaan saman akselin pyörät kerrallaan, jolloin tarvitaan kaksi vaaka-anturia. Ajoneuvon kokonaispaino saadaan laskemalla yhteen pyörien kuormitukset. Tällöin saattaa syntyä huomattavia virheitä, koska painojakauma vaihtelee ajoneuvon, hakekuorman ja punnitusolosuhteiden mukaan seuraavista syistä (Verkasalo 1987):

1. Akseliväli ja akselin sijainti vaikuttavat kuormituksen jakaumaan.
2. Telit tasaavat pyörien kuormitusta.
3. Hakekuorman pitkittäis- ja poikittaisprofiili vaihtelee ja vaikuttaa kuormituksen jakaumaan:
 - vajaat hakekuormat ovat yleensä etupainoisia
 - kuormatilan täyttäjärjestys vaihtelee hakkeen kuormausmenetelmän mukaan
 - puhaltavat ja varsinkin takaapuhaltavat hakkurit täyttävät ensin kuormatilan etuosan

- kippaavat hakkurit täyttävät kuormatilan melko tasaisesti
 - erikokoinen (eripainoinen) hake lajituu kuormatilan eri osiin (varsinkin takaapuhaltavilla hakkureilla)
4. Punnittava pyörä (tai akseli) nousee mittaushetkellä vaaka-anturin rakenteellisen korkeuden (2—10 cm) verran ylöspäin, minkä takia ajoneuvon painopiste siirtyy hieman akselistä pois päin. Sama toistuu kaikkien pyörien (akselien) kohdalla, mikä johtaa ajoneuvon kokonaispainon aliarviointiin. Tämä virhe vältetään käyttämällä muiden kuin punnittavien pyörien alla valeantureita, upottamalla vaaka-anturit maanpinnan tasolle tai punnitsemalla kaikki pyörät yhtäaikaaisesti, jolloin tarvitaan yhtä monta vaaka-anturia kuin ajoneuvossa on pyöriä.

Itse punnitustapahtumassa voi syntyä satunnaisvirhettä, jos

- vaaka-antureiden alusta ei ole tasainen ja pitävä (käytännössä tarvitaan päällystetty alusta)
- punnittava pyörä ei ole kokonaan vaaka-anturin tehollisella alueella
- ajoneuvo on punnitushetkellä käynnissä (moottorin tärinä)
- lämpötila on liian alhainen (nestetoimisilla vaaka-antureilla on spesifiset käyttölämpötila-alueet, koska nesteen viskositeetti muuttuu lämpötilan mukaan)

Haenni-akselipainovaa'alla suoritettussa metsähakkeen painomittauskokeilussa vaihteli hakekuorman nettopainon arviointivirhe ajoneuvotyypeittäin seuraavasti (Verkasalo 1987):

Ajoneuvotyyppi	\bar{x}	Virhe, % Vaihtelurajat	
Traktori + yksiakselinen perävaunu	—6,2	—13,3	—+5,9
Kolmiakselinen nuppiauto	—5,3	—13,7	—+3,8
Neliakselinen nuppiauto	—2,6	—7,6	—+3,7
Kolmiakselinen perävaunu	—0,8	—8,0	—+11,8

Menetelmän tarkkuus ei siis ollut tyydyttävä, mihin epäilemättä vaikuttivat vaikeat mittaolosuhteet. Parempaan tarkkuuteen päästäneen, jos punnitus suoritetaan edes kevyesti katetussa tilassa, johon on valettu kiinteät paikat vaaka-antureita varten.

Yleensä puutavaran painomittaus suoritetaan punnitsemalla puutavara-auto sekä kuormineen (bruttopaino) että tyhjänä (taara). Ajoneuvon taara saattaa vaihdella muutamia satoja kiloja polttoaineen, ajoneuvon rakenteisiin talvella pakkautuvan lumen ja jään sekä lisävarusteiden (esim. lumiketjut) määrästä riippuen. Käyttämällä ajoneuvo-kohtaista vakioitaaraa saadaan nettopaino mitattua 2—3 %:n tarkkuudella (Verkasalo 1987).

Heiskanen (1963) on tutkinut sahanhakkeen painomittausta mittalaatikkomenetelmällä. Tutkimuksen mukaan parhaiten käytännön tarkoituksiin sopi menetelmä, jossa 0,1—0,5 m³ laatikko täytettiin lapioimalla haketta sullomatta. Hakkeen irtotilavuusyksikön mittalaatikkopaino oli tällöin hakkurista riippuen 81—89 % autokuormapainosta. Ero johtui siitä, että hakkurilla puhallettu hake oli autokuormassa tiiviimpää kuin lapioitu hake mittalaatikossa. Saman asian on Uusvaara (1974) todennut välillisesti hydraulisella jätepuristimella suoritettussa hakkeen puristuskokeissa, jolloin hakkeen massa mittalaatikossa kohosi 13 %. Hakekuormasta oli punnittava Heiskanen (1963) mukaan vähintään 2—3 laatikollista haketta, jotta autokuormapaino saatiin muuntokerrointa käyttäen määritettyä ± 5 %:n tarkkuudella.

Laine ja Haapasalo (1981) ovat puolestaan tutkineet, miten polttohakkeen massa traktorikuormassa, kg/i-m³, eroaa massasta 2 m³:n mittalaatikossa. Hakkeen mittalaatikkomassa oli puulajista riippuen 88—95 % traktorikuormamassasta. Puulajeittain tarkasteltuna mittalaatikko- ja ajoneuvo-kuormamassan välisen suhdeluvun hajonta oli 2—5 %. Mittalaatikkomenetelmän käyttöä pidettiin mahdollisena edellyttäen, että tulokset oikaistaan pääpuulajista riippuvan korjauskertoimen avulla. Haketus tapahtui ko. tutkimuksessa yhdellä hakkurilla terminaalioloissa, joten haketus- ja kuljetuskalusto ja kuljetusmatka eivät päässeet vaikuttamaan hakkeen traktorikuormamassaan.

32. Hakkeen kosteus

32.1. Kosteuden vaihtelu leimikoiden välillä

Metsähakkeen kosteuden vaihtelua leimikoiden välillä aiheuttavat ennen kaikkea puu- ja puutavaralaji, hakepuun kuivatusaika ja -tapa sekä haketusvuodenaika (Hakkila 1984, Uusvaara 1984). Kaatotuoreen pienpuun kosteus on koivulla ja lepällä 40—55 %, männyllä ja kuusella 50—60 %. Oksien määrä vaikuttaa hakkeen kosteuteen. Havupuiden oksat ovat ainakin ilman neulasia normaalisti runkoa kuivempia. Koivulla tilanne on päinvastainen.

Puu- ja puutavaralajin lisäksi kaatotuo-

reen puun kosteus riippuu puun koosta, kasvupaikasta ja vuodenaikasta (säätöoloista). Eri-tyisesti lehtipuiden kosteus on alhaisimmillaan kesällä täyden lehden aikaan, jolloin haihdutustoiminta on vilkkaimmillaan, ja korkeimmillaan huhti-toukokuussa juuri ennen hiirenkorvavaihetta (Hakkila 1962). Myös havupuilla kosteus alenee kesäaikana mutta vähemmän kuin lehtipuilla. Jäätäneen puun aikana kosteus pysyy kaikilla puulajeilla tasaisen korkeana. Käytännön kokeissa on todettu syyskesällä ja syksyllä kaadetun kokopuun kaatokuukauden vaikuttaneen hakkeen kosteuteen 2—7 %-yksikköä, kun hakeutus on tapahtunut seuraavana talvena (Uusvaara ja Verkasalo 1987). Hakepuun kuivatus tapahtuu tehokkaimmin kesällä rasissa levällään tai kourakasoille koottuna. Hyvissä oloissa kuivuminen 40 %:n kosteuteen tapahtuu 2—4 viikossa (Hakkila 1962, Uusvaara 1984). Mänty kuivuu rasissa muita puulajeja huonommin. Joskus rasikuivatus korvataan hakepuun pitkäaikaisella välivarastoinnilla (esim. Vapo Oy, Hakkila 1984). Tällöin hakepuun kosteus tavallisesti kohoaa syksyllä ilman suhteellisen kosteuden kohotessa, mikä voidaan estää peittämällä hakepuupinot. Uusvaaran (1984) kokeissa peitetyistä pinoista tehdyn hakkeen kosteus oli 3 %-yksikköä alhaisempi kuin peittämättömistä pinoista tehdyn.

Metsähakkeen kosteuden vuodenaajoittainen vaihtelu toimituspaikalla johtuu paitsi sään vaihtelusta (syysateet, lumi ja jää talvella) myös hakepuun teon keskittymisestä tiettyihin kuukausiin, jolloin kaato- ja kuivatusaika pääsevät vaikuttamaan systemaattisesti hakkeen kosteuteen (Hakkila 1984, Uusvaara ja Verkasalo 1987). Lämpölaitosten polttohakkeen kosteus on talvella ja keväällä keskimäärin 40 %, syksyllä 36—38 % ja kesällä alle 35 % (Hakkila 1984). Hakekuormien välinen kosteuden keskihajonta on ollut yhden kuukauden aikana keskimäärin 5—6 %-yksikköä.

Taulukossa 1 on esitetty tämän tutkimuksen mukaiset kuormien leimikoiden välistä kosteuden vaihtelua kuvaavat tunnusluvut. Hakelajin mukainen luokittelu on karkea, mutta vastaa kuitenkin normaalisti metsähakkeen hinnoittelussa sekä tehtaiden ja lämpölaitosten vastaanotossa noudatettavaa luokittelua. Keskimääräiset hakelajikohtaiset keskihajonnat ja variaatiokertoimet olivat korkeat, 4,7—10,5 %-yksikköä ja 11,8—20,8 % keskiarvosta. Vaihtelu oli odotetusti suu-

Taulukko 1. Kuormien kosteuden vaihtelu leimikoiden välillä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina.

Table 1. Variation of moisture content of loads between cutting sites by kind of chipwood and degree of dryness in various seasons.

Hakepuu Chipwood	Vuodenaika — Season											
	Kesä — Summer				Talvi — Winter				Yhteensä — Total			
	n	\bar{x}	s	V	n	\bar{x}	s	V	n	\bar{x}	s	V
Kosteus, % — Moisture content, per cent												
Havukokopuu — Whole tree of softwoods												
Tuore — Green	4	48,5	(2,2)	(4,5)	9	53,2	3,5	6,6	13	51,7	3,8	7,4
Kesävarastoitu — Stored during summer	2	44,3	(4,3)	(9,7)	1	42,4	..	..	3	43,6	(3,2)	(7,3)
Ylivuotinen — Seasoned	10	40,0	6,5	16,3	8	42,3	6,8	16,1	18	41,0	6,6	16,1
Yhteensä — Total	16	42,7	6,5	15,2	18	47,7	7,5	15,7	34	45,4	7,4	16,3
Lehtikokopuu — Whole tree of hardwoods												
Tuore — Green	4	42,7	(4,0)	(9,4)	8	46,0	4,7	10,2	12	44,9	4,6	10,2
Kesävarastoitu — Stored during summer	5	36,8	(3,3)	(9,0)	2	38,9	(5,2)	(13,4)	7	37,4	3,6	9,6
Ylivuotinen — Seasoned	12	36,9	4,9	13,3	29	39,2	3,2	8,2	41	38,5	3,8	9,9
Yhteensä — Total	21	38,0	4,8	12,6	39	40,6	4,5	11,1	60	39,7	4,7	11,8
Ranka — Bole												
Tuore — Green	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Kesävarastoitu — Stored during summer	2	37,9	(5,3)	(14,0)	2	42,4	(0,9)	(2,1)	4	40,1	(4,1)	(10,2)
Ylivuotinen — Seasoned	8	33,4	4,4	13,2	10	34,1	6,5	19,1	18	33,8	5,5	16,3
Yhteensä — Total	10	34,3	4,6	13,4	12	35,5	6,7	18,9	22	34,9	5,7	16,3
Hakkuutähde — Slash												
Tuore — Green	2	49,3	(3,1)	(6,3)	2	60,1	(5,4)	(9,0)	4	54,5	(7,1)	(13,0)
Kesävarastoitu — Stored during summer	1	56,2	..	..	..	..	..	..	1	56,2	..	..
Ylivuotinen — Seasoned	1	30,1	..	..	1	49,5	..	..	2	39,8	(13,7)	(34,4)
Yhteensä — Total	4	46,2	(11,4)	(24,7)	3	56,5	(7,2)	(12,7)	7	50,5	10,5	20,8

rinta hakkuutähdehakkeella ja hieman odottamattomasti pienintä lehtikokopuuhakkeella. Kuvasta 1 voidaan nähdä samat tulokset: mitä suurempi on jakauman vaihteluväli ja mitä enemmän siinä esiintyy huipukkuutta, sitä suurempi on kosteuden vaihtelu. Leimikoiden ryhmittely hakepuun kuivatusajan mukaan pienensi kuormien kosteuden vaihtelua huomattavasti, kun hakepuu oli tuoretta tai kesällä varastoitua. Ylivuotisesta puusta tehdyllä hakkeella vaihtelu pysyi suurena. Tämä viittaa jo edellä mainittuun varastointisäään ja hankinta-ajankohdan suureen vaikutukseen.

Leimikoiden ryhmittely haketusvuodenajan mukaan puolestaan osoitti, että kosteus vaihteli kesällä huomattavasti vähemmän kuin talvella. Havukokopuuhakkeen suurelta vaikuttava kosteuden vaihtelu johtui osaksi ylivuotisen männyn ja kuusen suurista kosteuseroista (männnyllä keskimäärin 42,2 % ja kuusella 38,0 %). Puulaji on niin ikään lisän-

nyt rankahakkeen kosteuden vaihtelua (männnyllä keskimäärin 30,7 %, koivulla 38,8 %, lepällä 32,4 %). Koivurankahakkeesta suuri osa oli tehty pinotavarasta, jonka kosteus oli 2 %-yksikköä korkeampi kuin vastaavan pienpuurangon kosteus.

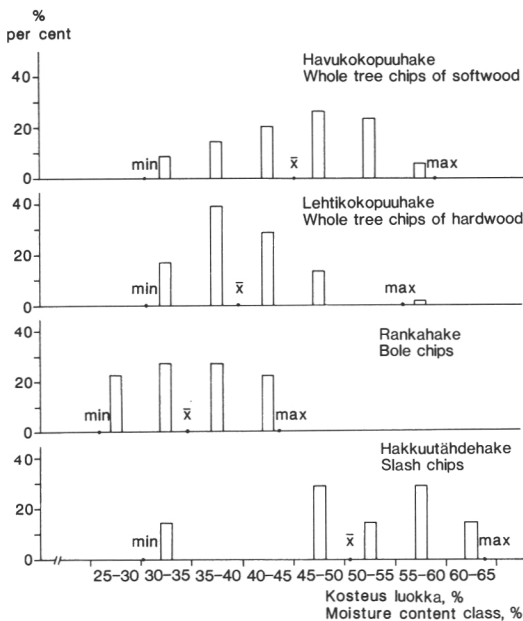
322. Kosteuden vaihtelu leimikoiden sisällä

Metsähakkeen kuormittaista kosteuden vaihtelua leimikoiden sisällä (yhdestä leimikosta peräisin olevien hakekuormien välillä) aiheuttavat hakepuupinojen sijaintiin liittyvät tekijät (valoisuus, tuulusuus) sekä pinojen varastointiaika, koko ja tiiviys (Uusvaara 1984). Sateet ja talvella jää ja lumi lisäävät hakepuun kosteutta varsinkin pinon pintaosassa. Niin ikään kosteus saattaa olla pinon

Taulukko 2. Kuormien kosteuden vaihtelu leimikoiden sisällä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina.

Table 2. Variation of moisture content of loads within cutting sites by kind of chipwood and degree of dryness in various seasons.

Hakepuu Chipwood	Vuodenaika — Season					
	Kesä — Summer		Talvi — Winter		Yhteensä — Total	
	s	V	s	V	s	V
Havukokopuu Whole tree of softwoods						
Tuore — Green	1,9	3,9	2,4	4,5	2,2	4,3
Kesävarastoitu Stored during summer	1,7	3,8	6,1	14,4	3,1	7,2
Ylivuotinen — Seasoned	3,9	9,8	3,6	8,6	3,8	9,3
Yhteensä — Total	3,1	7,6	3,1	6,9	3,1	7,2
Lehtikokopuu Whole tree of hardwoods						
Tuore — Green	1,6	3,7	1,8	3,8	1,7	3,8
Kesävarastoitu Stored during summer	3,0	8,2	3,8	9,8	3,2	8,7
Ylivuotinen — Seasoned	2,7	7,4	3,3	8,4	3,1	8,1
Yhteensä — Total	2,6	6,9	3,0	7,5	2,8	7,3
Ranka — Bole						
Kesävarastoitu Stored during summer	2,2	5,7	2,6	6,6	2,3	5,8
Ylivuotinen — Seasoned	3,4	10,1	2,1	6,0	2,6	7,7
Yhteensä — Total	3,2	9,2	2,2	6,2	2,5	7,4
Hakkuutähde — Slash						
Tuore — Green	2,4	4,8	2,5	4,2	2,4	4,5
Kesävarastoitu Stored during summer	2,6	4,6	..	..	2,6	4,6
Ylivuotinen — Seasoned	7,0	15,1	7,6	15,4	7,3	15,3
Yhteensä — Total	3,6	7,7	4,2	7,5	3,9	7,6



Kuva 1. Leimikkokohtaisten keskikosteuksien jakaumat hakepuulajeittain.

Fig. 1. The moisture content distributions of the cutting sites by kind of chipwood.

pohjalla korkeampi kuin pinon keskiosassa, varsinkin jos pinon alle ei ole laitettu aluspuita. Peittäminen ilmeisesti tasoittaa kosteuseroja pinon eri osien välillä.

Taulukossa 2 on esitetty kuormien leimikoiden sisäistä kosteuden vaihtelua kuvaavat keskimääräiset tunnusluvut hakelajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina. Keskimääräiset hakelajikohtaiset keskihajonnat ja variaatiokertoimet olivat melko korkeat, 2,5—3,9 %-yksikköä ja 7,3—7,6 % keskiarvosta. Kosteuden vaihtelu leimikoiden sisällä oli kuitenkin vain noin puolet siitä, mitä se oli leimikoiden välillä. Hakelajien välillä ei tässä suhteessa näyttänyt olevan oleellisia eroja. Vaihtelu oli ylivuotisesta ja kesällä varastoidusta puusta tehdyllä hakkeella odotetusti suurempi talvella kuin kesällä, mutta erot olivat varsin pieniä.

Myös varianssianalyseissa voitiin todeta selvästi suurempi kuormien kosteuden vaihtelu leimikoiden välillä kuin niiden sisällä. Erot olivat kaikkien hakelajien kohdalla erittäin merkitsevät:

Hakelaji	Vapausasteet Leimikoiden		Hakkeen kosteuden keskihajonta Leimikoiden		F-arvo
	välinen	sisäinen	välinen	sisäinen	
Havukokopuuhake	33	215	7,4	3,1	5,7
Lehtikokopuuhake	59	379	4,7	2,8	2,8
Rankahake	21	110	5,7	2,5	5,2
Hakkuutähdehake	6	62	10,5	3,9	7,2

Kun leimikkojako jätettiin pois, kuormien välinen kosteuden vaihtelu kasvoi selvästi varsinkin ranka- ja hakkuutähdehakeella:

Hakelaji	Vuodenaika					
	Kesä		Talvi		Yhteensä	
	s	V	s	V	s	V
Havukokopuuhake	4,2	9,5	4,6	9,3	5,0	10,7
Lehtikokopuuhake	5,1	14,0	5,1	12,1	6,0	15,1
Rankahake	6,1	17,4	7,0	18,8	6,4	18,1
Hakkuutähdehake	8,8	19,9	5,3	9,4	9,7	19,5

Koko aineiston yhteinen kosteuden keskihajonta ja variaatiokerroin olivat 8,9 %-yksikköä ja 20,9 % keskiarvosta. Uusvaara (1986) on todennut sahanhakeella vastaavat tunnusluvut huomattavasti alhaisemmiksi:

Puulaji	s, %-yksikköä	V, %
Mänty	6,4	11,6
Kuusi	2,7	4,7
Seka	3,0	5,5

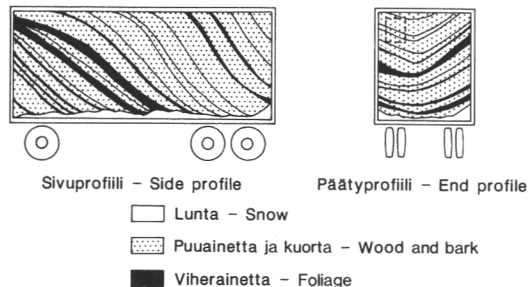
Suhteellisen vähäinen kosteuden vaihtelu sahanhakeella johtuu sahatukkien käytännön varastointitavoista, joilla pyritään estämään tukkien liiallinen kuivuminen (vesivastointi, sadetus maavarastoinnin yhteydessä).

323. Kosteuden vaihtelu hakekuormien sisällä

Metsähakkeen kosteuden vaihtelu hakekuormien sisällä on osaksi satunnaista, osaksi systemaattista. Systemaattinen vaihtelu johtuu:

- erikokoisen ja -painoisen hakkeen kerrostumisesta ja lajittumisesta vyöhykkeiksi haketta kuormatilaan puhallettaessa (kuva 2)
- kuorman pintaosissa olevan hakkeen kuivumisesta kesällä poutasäällä ja kostumisesta vesi- ja lumisäällä sekä
- mahdollisesti hakepuupinon eri osista peräisin olevan, kosteudeltaan erilaisen hakkeen joutumisesta hakekuorman eri osiin (pinon eri osien haketusjärjestyksestä riippuen).

Taulukossa 3 on esitetty metsähakkeen kosteuden vaihtelua kuorman eri osissa ja hakekasassa sekä niiden välillä kuvaavat tunnusluvut hakelajeittain ja kuivuuasteittain. Kaikkien kuormaa kohti otettujen 20 näytteen perusteella laskettu keskihajonta oli 1,7—4,4 %-yksikköä ja variaatiokerroin 2,8—12,7 % keskiarvosta hakelajista riippuen. Kuormien välillä kyseiset tunnusluvut olivat 50—150 % suuremmat kuin kuormien sisällä. Selvästi suurempi kosteuden vaihtelu kuormien välillä kuin niiden sisällä ilmeni myös varianssianalyysissä, joissa erot osoitautuivat kaikissa tapauksissa erittäin merkitseviksi:



Kuva 2. Kuormatilan takaa puhaltavalla hakkurilla tehdyn hakekuorman sivu- ja päätyprofiilit.
Fig. 2. The side and the back profiles of the chip load made by chipper blowing the chips from the back of the load.

Hakelaji	Vapausasteet		Hakkeen kosteuden keskihajonta Kuormien		F-arvo
	välinen	sisäinen	välinen	sisäinen	
Havukokopuu	13	266	6,5	2,9	5,0
Lehtikokopuu	18	341	7,5	3,3	5,2
Rankahake	5	94	6,7	3,1	4,7
Hakkuutähde	5	94	11,0	4,3	6,5

Hakkeen kosteuserot kuorman eri osien välillä olivat vähäiset, 0,6—2,3 %-yksikköä. Alhaisimmat kosteudet esiintyivät yleensä kuorman päällä. Otettaessa näytteet hakekasasta saatiin kostedelle pienemmät keskihajonnat kuin otettaessa ne kuorman päältä (0,7—3,8 %-yksikköä ja 1,4—5,5 %-yksikköä), koska hake oli kasassa paremmin sekoitettua. Kuorman takaosasta otettujen näytteiden perusteella laskettu keskihajonta oli eräissä tapauksissa yllättävästi pienempi kuin hakekasasta otettujen näytteiden perusteella laskettu keskihajonta. Kuorman takaosan hake edusti kuitenkin vain hyvin pientä hakemäärää, mikä saattoi olla peräisin vain tietystä hakepuupinon kohdasta — varsinkin, kun haketus oli tapahtunut kuorman takaa puhaltavalla hakkurilla. Ylivuotisesta puusta tehdyllä hakkeella kosteuden vaihtelu

oli suurempaa kuin tuoreesta puusta tehdyllä hakkeella sekä hakekuormien välillä että niiden sisällä.

Aiheesta on olemassa hyvin vähän aikaisempaa tutkimustietoa. Nisula (1961) on saanut koivu-, mänty- ja kuusirangasta ja ohutpuusta sekä koivuhalosta valmistetusta hakkeesta otettujen näytteiden kuiva-ainepitoisuuden keskihajonnaksi 4,0 %-yksikköä, kun näytteet otettiin kuormasta ja 1,7 %-yksikköä, kun näytteet otettiin kuormaa purettaessa. Uusvaara (1978) on saanut samansuuntaiset tulokset teollisuushakkeella, jolla näytteiden kosteuden keskihajonta oli kuormasta otettaessa 7,44 %-yksikköä ja kuormaa purettaessa otettaessa 3,80 %-yksikköä, ja sahanpurulla, jolla vastaavat tunnusluvut olivat 2,03 ja 0,90 %-yksikköä.

Taulukossa 4 on tarkasteltu metsähakkeen

Taulukko 3. Kosteuden vaihtelu hakekuorman eri osissa ja hakekasassa hakepuulajeittain ja kuivuusasteittain.
Table 3. Variation of moisture content in various parts of chip load and in chip pile by kind of chipwood and degree of dryness.

Hakepuu Chipwood	Hakekuorman päällä In the upper part of the chip load		Hakekuorman takaosassa In the back of the chip load		Hakekasassa In the chip pile		Yhteensä — Total		(Vaihteluväli) (Range of variation)	Kosteuden vaihtelu hakekuormien välillä Load-to-load variation of moisture content			
	n	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}		s	V	s	V
Kosteus, % — Moisture content, per cent													
Havukokopuu — Whole tree of softwoods													
Tuore — Green	8	52,0	1,8	52,6	1,5	52,4	1,6	52,3	1,7	(1,1—2,6)	3,3	4,4	8,4
Ylivuotinen — Seasoned	6	43,1	4,6	44,2	2,3	45,2	3,8	44,2	4,4	(3,4—6,1)	10,0	6,2	14,0
Yhteensä — Total	14	48,2	3,0	49,0	1,9	49,3	2,6	48,8	2,9	(1,1—6,1)	5,9	6,5	13,3
Lehtikokopuu — Whole tree of hardwoods													
Tuore — Green	11	46,5	2,6	45,6	3,1	46,2	1,7	46,2	3,3	(1,4—6,9)	7,1	6,1	13,2
Ylivuotinen — Seasoned	8	37,5	2,8	37,1	3,1	36,4	2,3	37,0	3,2	(1,3—5,2)	8,8	5,7	15,4
Yhteensä — Total	19	42,7	2,7	42,0	3,1	42,0	2,0	42,4	3,3	(1,3—6,9)	7,8	7,5	17,7
Ranka — Bole													
Tuore — Green	2	43,7	1,4	44,7	1,2	43,3	0,7	43,8	1,2	(1,2—1,3)	2,8	2,9	6,6
Ylivuotinen — Seasoned	4	32,7	2,7	34,0	2,0	32,4	3,3	32,3	4,1	(1,8—7,8)	12,7	3,9	12,1
Yhteensä — Total	6	36,4	2,3	37,5	1,7	35,2	2,4	36,1	3,1	(1,2—7,8)	8,7	6,7	18,6
Hakkuutähde — Slash													
Tuore — Green	3	58,8	3,7	61,0	4,0	59,8	3,8	59,6	4,2	(3,8—4,7)	7,0	6,7	11,2
Ylivuotinen — Seasoned	3	45,4	5,5	45,9	5,7	47,7	3,3	46,4	4,4	(3,8—5,1)	9,4	11,2	24,1
Yhteensä — Total	6	52,1	4,6	53,5	4,8	53,8	3,6	53,0	4,3	(3,8—5,1)	8,0	11,0	20,8

Taulukko 4. Hakkeen kosteuden vaihtelu hakekuorman eri osissa ja hakekasassa hakelajeittain eri kuorman purkumenetelmiä käytettäessä.

Table 4. Variation of moisture content of chips in various parts of chip load and chip pile by kind of chips when various methods of unloading are used.

Hakelaji Kind of chips	Hakekuorman päällä In the upper part of the chip load			Hakekuorman takaosassa In the back of the chip load			Hakekasassa In the chip pile			Yhteensä — Total								
	Kosteuden variaatiokerroin (V) Variation coefficient of moisture content (V)									Kosteus, % — Moisture content, per cent								
	Purkumenetelmä — Method of unloading			Purkumenetelmä — Method of unloading			Purkumenetelmä — Method of unloading			s		V		s		V		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Havukokopuuhaake Whole tree chips of softwood	7,1	5,1	5,7	3,1	1,8	4,6	6,0	2,3	4,9	3,2	6,7	1,8	3,6	2,7	5,5			
Lehtikokopuuhaake Whole tree chips of hardwood	7,6	7,7	5,3	5,8	4,1	9,2	4,9	3,7	4,6	4,0	9,1	2,3	5,5	2,8	6,8			
Rankahake — Bole chips	5,3	..	3,8	1,9	..	2,4	5,4	..	1,7	1,8	5,1	..	..	1,3	2,8			
Hakkuutähdehaake Slash chips	6,6	..	7,7	6,6	..	1,3	4,4	..	9,8	3,8	5,7	..	..	4,7	8,0			

Purkumenetelmät: 1 = kippaus taaksepäin, 2 = kippaus sivulle, 3 = purku kolakuljettimella
Methods of unloading: 1 = end-tipping, 2 = side-tipping, 3 = unloading with scraper conveyor

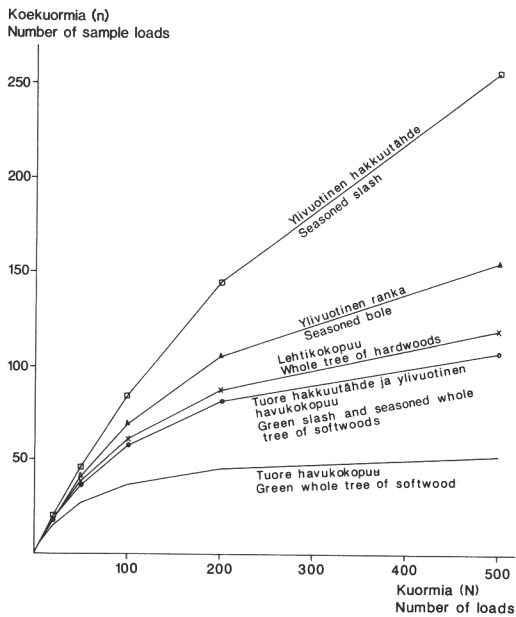
kosteuden vaihtelua kuorman eri osissa ja hakekasassa ryhmittelemällä aineisto hakelajin lisäksi hakkeen purkumenetelmän mukaan. Periaatteessa hakkeen voisi olettaa sekoittuvan ja kosteuden vaihtelun hakekasassa pienenevän enemmän purettaessa hakekuorma kippaamalla kuin purettaessa se kuormatilan pohjassa olevalla kolakuljettimella. Tämän oletuksen paikkansapitävyydestä saatiinkin viitteitä: hakenäytteiden kosteuden variaatiokerroin pieneni kolakuljettimella purkamiseen verrattuna 2,0—3,3 %-yksikköä enemmän purettaessa hake sivulle kippaamalla ja 0,1—2,0 %-yksikköä enemmän purettaessa se taaksepäin kippaamalla. Yleissäännöstä poikkeava tulos rankahakkeen kohdalla johtui yhden kippaamalla puretun leppäransahakekuorman hakekasasta otettujen näytteiden erittäin suuresta kosteuden hajonnasta. Erot eri menetelmillä purettujen hakekuormien kaikkien 20 näytteen perusteella saatujen kosteuden variaatiokertoimien välillä johtuivat hakkeen kuivusaste-eroista: kosteuden keskihajonnat olivat ylivuotisesta puusta tehdyllä hakkeella suuremmat kuin tuoreesta puusta tehdyllä hakkeella ja variaatiokertoimet olivat suhteellisesti vielä suuremmat. Tutkituista hakekuormista kaikki sivulle kippaamalla puretut sisälsivät tuoreesta puusta tehtyä haketta, kun sitä oli kolakuljettimella puretuista kuormista 65 % ja taaksepäin kippaamalla puretuista kuormista 40 %.

Vertailtaessa varsinaisen kuormakohtaisen näytteen perusteella saatuja kosteustuloksia samoista kuormista otettujen 20 näytteen perusteella saatuihin tuloksiin ilmeni systemaattisia eroja. Yleensä kuormakohtaisen näytteen perusteella hakekuorman keskimääräinen kosteus tuli aliarvioiduksi, varsinkin kun hake oli tehty tuoreesta puusta, jonka kosteus oli korkea:

Hakepuu	Virhe kosteustuloksessa, %-yksikköä Vaihteluväli		
Havukokopuu			
Tuore	1,8	—4,8	+1,3
Ylivuotinen	2,5	—3,5	+4,9
Lehtikokopuu			
Tuore	1,1	—3,5	+2,8
Ylivuotinen	3,4	—8,3	—0,7
Ranka			
Tuore	1,9	—2,4	—1,5
Ylivuotinen	2,5	—4,8	+2,4
Hakkuutähde			
Tuore	3,4	—7,3	—1,1
Ylivuotinen	4,7	—8,2	—1,0

324. Näytteen koko kuormaotantamittauksessa

Hakkeen kosteuden määrittämiseksi tarvittavan näytteen koko riippuu kosteuden vaihtelusta sekä tarkkuusvaatimuksesta. Joissakin tapauksissa saattaa riittää tieto tiet-

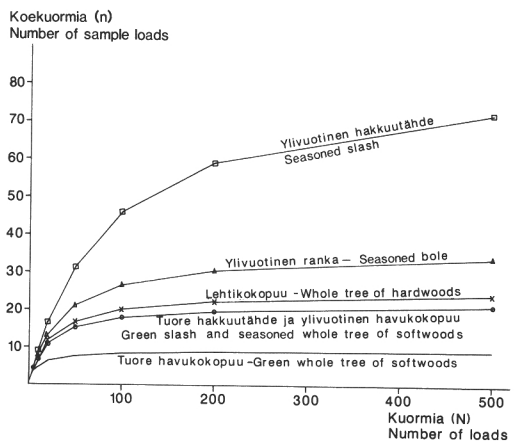


Kuva 3. Tietynä aikavälinä toimitetun hakkeen keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 2\%$.

Fig. 3. Number of sample loads needed to determine the average moisture content of the chips delivered during certain period by kind of chipwood and degree of dryness. The required accuracy $\pm 2\%$.

tynä aikana toimitetun hakkeen keskikosteudesta (tehdasvastaanottomittaus, raaka- ja polttoaineen laadun tarkkailu, haketoimitukset omista metsistä). Puukauppaa varten tarvitaan kosteustulokset kuitenkin toimittaja-kohtaisina. Tämä edellyttää hakkeen keskikosteuden määrittämistä leimikoittain.

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty tietynä aikavälinä toimitetun hakkeen keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien kosteusnäytekuormien lukumäärät hakelajeittain ja kuivusasteittain kaikkien hakekuormien lukumäärän vaihdellessa välillä 5–500. Vaihtoehtoisina kosteuden mittauksen tarkkuusvaatimuksina on käytetty $\pm 2\%$ ($\pm 0,6 - \pm 1,2\%$ yksikköä) ja $\pm 5\%$ ($\pm 1,5 - \pm 3,0\%$ yksikköä). Nämä johtavat hakkeen kuivamassan mittaussessa $\pm 3\%$:n ja $\pm 8,3\%$:n tarkkuuksiin, mikäli hakkeen tuoremassan mittaustuloksia pidetään tarkkoina. Havukokopuu- ja hakkuutähdehakkeella tuoreesta puusta tehdyn hakkeen kosteus voidaan määrittää huomattavasti pienemmällä otoksella kuin ylivuoti-sesta puusta tehdyn hakkeen kosteus.

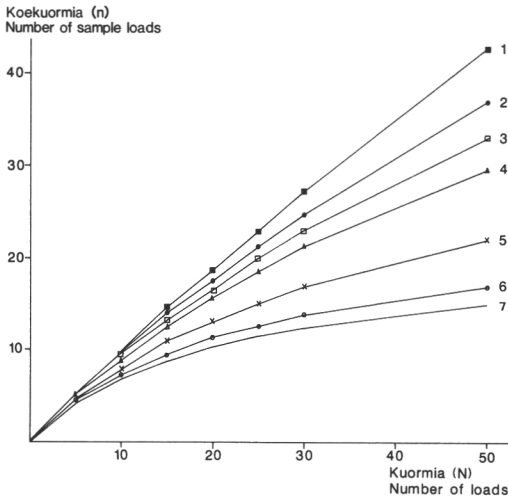


Kuva 4. Tietynä aikavälinä toimitetun hakkeen keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 5\%$.

Fig. 4. Number of sample loads needed to determine the average moisture content of the chips delivered during certain period by kind of chipwood and degree of dryness. The required accuracy $\pm 5\%$.

Polttohake tehdään useimmiten luvussa 21 mainitun määritelmän mukaisesta ylivuoti-sesta rangasta tai kokopuusta tai hakkuutähdeestä, jolloin tarvittavaa otosta voidaan ylivuoti-sesta hakkuutähdeestä tehtyä haketta lukuun ottamatta pitää vakiona. Metsäteollisuuden raaka-aineeksi tarkoitettu hake pyritään yleensä tekemään tuoreesta puusta. Havukokopuuahakkeesta tarvittava otos on tällöin pienempi kuin lehtikokopuuahakkeesta tarvittava. Rankahakkeen suuret otokset joh-tuivat osaksi männystä, koivusta ja lepästä sekä pienpuurangasta ja kuitupuusta tehdyn hakkeen käsittelemisestä yhtenä ryhmänä.

Kuvissa 5 ja 6 on esitetty kosteusnäytekuormien lukumäärät määritettäessä leimikohtaisia keskikosteuksia. Tarvittavat otokset ovat huomattavasti pienemmät ja hakelajien väliset erot samansuuntaiset mutta selvemmät kuin määritettäessä pelkkiä hakelajikohtaisia keskikosteuksia. Myös lehtikokopuuahakkeella selvittää pienemmällä otoksella, kun hake on tehty ylivuoti-seen puun asemasta tuoreesta puusta. Kokopuuahakkeella yli kolmen viikon varastointi kesällä suurentaa tarvittavaa otosta huomattavasti. Hakkuutähdehakkeella tämä tapahtuu vuoden yli kestävän varastoinnin jälkeen. Käytännössä yhdeltä leimikolta kertyy harvoin yli 20 kuormaa haketta. Polttohakkeella (yli-

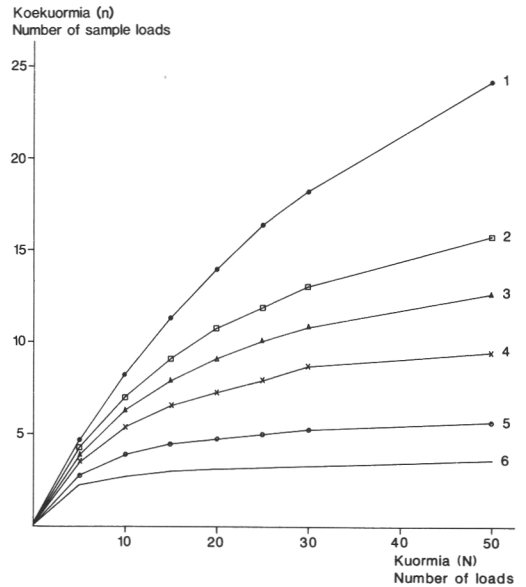


Kuva 5. Kuormien leimikkokohtaisen keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain ja kuivuusasteittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 2\%$. 1 = ylivuotinen hakkuutähde, 2 = ylivuotinen havukokopuu, 3 = kesävarastoitu ja ylivuotinen lehtikokopuu ja ylivuotinen ranka, 4 = kesävarastoitu havukokopuu, 5 = kesävarastoitu ranka, 6 = tuore ja kesävarastoitu hakkuutähde, 7 = tuore kokopuu.

Fig. 5. Number of sample loads needed to determine the average moisture content of the loads from certain cutting site by kind of chipwood and degree of dryness. The required accuracy $\pm 2\%$. 1 = seasoned slash, 2 = seasoned whole tree of softwoods, 3 = during summer stored and seasoned whole tree of hardwoods and seasoned bole, 4 = during summer stored whole tree of hardwoods, 5 = during summer stored whole tree of hardwoods, 6 = green and during summer stored slash, 7 = green whole tree.

vuotinen hake) otossuhteet ovat tällöin niin suuria, että kosteusnäytteen ottaminen kaikista hakekuormista lienee käytännössä yksinkertaisempaa ja helpompaa kuin otannan käyttö. Metsäteollisuuden raaka-aineeksi menevällä hakkeella (tuore kokopuu) otannan käyttö lienee sen sijaan perusteltua.

Hakkeen kosteusnäytteen ottamisen menetelmä on olemassa melko niukasti aikaisempaa tietoa. Uusvaara (1986) on laskenut sahanhakkeen painomittauksessa tarvittavat kosteusnäytteiden otokset erilaisille hakkeen toimitusmäärille kuukaudessa. Otokset olivat luonnollisesti pienemmät kuin tässä tutkimuksessa metsähakkeelle lasketut otokset, koska kosteuden vaihtelu oli vähäisempää.



Kuva 6. Kuormien leimikkokohtaisen keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain ja kuivuusasteittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 5\%$. 1 = ylivuotinen hakkuutähde, 2 = ylivuotinen havukokopuu, 3 = kesävarastoitu ja ylivuotinen lehtikokopuu ja ylivuotinen ranka, 4 = kesävarastoitu havukokopuu, 5 = kesävarastoitu ranka, 6 = tuore kokopuu sekä tuore ja kesävarastoitu hakkuutähde.

Fig. 6. Number of sample loads needed to determine the average moisture content of the loads from certain cutting site by kind of chipwood and degree of dryness. The required accuracy $\pm 5\%$. 1 = seasoned slash, 2 = seasoned whole tree of softwoods, 3 = during summer stored and seasoned whole tree of hardwoods and seasoned bole, 4 = during summer stored whole tree of hardwoods, 5 = during summer stored whole tree of hardwoods, 6 = green whole tree and green and during summer stored slash.

325. Näytteen koko ja näytteenotto kohta yksittäisessä hakekuormassa

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty yhden hakekuorman kosteuden määrittämiseen tarvittavien näytteiden ($\approx 1-2 \text{ dm}^3$) lukumäärät hakelajeittain ja kuivuusasteittain, kun näytteet otetaan vaihtoehtoisesti kuormasta tai hakekasasta. Näytteenotto hakekasasta vähensi lähes aina tarvittavien näytteiden lukumäärää, tapauksesta riippuen 0—70 %. Kun hakekasasta otettujen näytteiden perusteella määritetty kosteus lisäksi poikkesi hyvin vähän (0,0 — 1,3 %-yksikköä, taulukko 3) kaikkien näytteiden perusteella määritetystä kosteudesta, voidaan näytteenottoa hakekasasta pitää suositeltavana.

Taulukko 5. Hakekuorman keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien kosteusnäytteiden määrä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain. Näytteet otetaan kuorman eri osista.

Table 5. Number of moisture content samples needed to determine the average moisture content of chip load by kind of chipwood and degree of dryness. The samples are taken from various parts of chip load.

Hakepuu Chipwood	Sallittu virhe, % keskiarvosta – Permitted error, per cent of mean				
	10	5	3	2	1
	Näytteitä/hakekuorma, kpl – Amount of samples/chip load				
Havukokopuu — Whole tree of softwoods					
Tuore — Green	1	2	4	8	32
Ylivuotinen — Seasoned	3	12	33	74	295
Yhteensä — Total	2	5	12	27	105
Lehtikokopuu — Whole tree of hardwoods					
Tuore — Green	2	6	17	38	152
Ylivuotinen — Seasoned	3	9	25	56	223
Yhteensä — Total	2	8	21	46	187
Ranka — Bole					
Tuore — Green	1	1	3	6	23
Ylivuotinen — Seasoned	5	20	54	120	480
Yhteensä — Total	3	9	25	55	220
Hakkuutähde — Slash					
Tuore — Green	2	6	17	37	148
Ylivuotinen — Seasoned	3	11	30	67	268
Yhteensä — Total	2	8	22	49	196

Taulukko 6. Hakekuorman keskikosteuden määrittämiseen tarvittavien kosteusnäytteiden määrä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain. Näytteet otetaan hakakasasta.

Table 6. Number of moisture content samples needed to determine the average moisture content of chip load by kind of chipwood and degree of dryness. The samples are taken from chip pile.

Hakepuu Chipwood	Sallittu virhe, % keskiarvosta – Permitted error, per cent of mean				
	10	5	3	2	1
	Näytteitä/hakekuorma, kpl – Amount of samples/chip load				
Havukokopuu — Whole tree of softwoods					
Tuore — Green	1	2	4	8	33
Ylivuotinen — Seasoned	3	10	28	62	245
Yhteensä — Total	1	4	11	24	97
Lehtikokopuu — Whole tree of hardwoods					
Tuore — Green	1	2	6	12	47
Ylivuotinen — Seasoned	2	6	16	35	139
Yhteensä — Total	1	4	9	20	79
Ranka — Bole					
Tuore — Green	1	1	1	3	9
Ylivuotinen — Seasoned	4	15	40	90	359
Yhteensä — Total	2	7	18	41	161
Hakkuutähde — Slash					
Tuore — Green	2	6	20	43	172
Ylivuotinen — Seasoned	2	7	19	42	166
Yhteensä — Total	2	7	18	39	155

P. Nylinderin (1972) mukaan sahanhakekuorman keskimääräinen kosteus saadaan määritettyä ± 2 %:n tarkkuudella, kun kuormasta otetaan 5—15 kpl 2 dm³ näyteyksikköä. Heiskasen (1963) tutkimuksessa on saatu polttohakekuormista otettavien näyteyksiköiden lukumääräksi eri kuiva-ainepitoisuuden tarkkuusvaatimuksille:

1 %	—	26 kpl
2 %	—	7 kpl
3 %	—	4 kpl
4 %	—	3 kpl
5 %	—	2 kpl

Uusvaara (1978) on laskenut, että kuormasta on purkamisen yhteydessä otettava näyte, joka koostuu teollisuushakkeella 1—7 ja sahanpurulla 1—3 osanäytteestä (à 1 dm³), kun kuorman kuiva-ainepitoisuudessa sallitaan ± 2 %:n virhe.

Laine ja Haapasalo (1981) ovat puolestaan esittäneet, että erilaisilla hakekuorman pintaosasta otettavilla näytemäärillä päästään seuraaviin tarkkuuksiin polttohakkeen kosteutta määrittettäessä:

Näytteitä, kpl	Koivuhake	Sahapintahake
	Kosteuden mittauksen tarkkuus, %	
2	6	14
6	2	5
12	1	2
18	1	2

Tulosten perusteella he päättelivät, että heti kuorman pinnan alta otetuilla 12:lla 0,5 dm³:n näytteellä päästäisiin melko hyvään tarkkuuteen polttohakkeen kosteuden määrittämisessä

33. Hakkeen kuivamassa

331. Kuivamassan vaihtelu leimikoiden välillä

Metsähakkeen kuivamassan (kg/i-m³) kuormittaista vaihtelua leimikoiden välillä aiheuttavat kosteuden vaihtelua aiheuttavien tekijöiden (luku 321) lisäksi ennen kaikkea hakkurista johtuvat, hakkeen tiiviyyteen vaikuttavat tekijät. Eri hakkureilla tehdyn hakkeen tiiviyserot johtuvat ennen kaikkea eroista hakkeen kuormausmenetelmässä ja puhallusvoimassa sekä hakkurin toimintape-

riaatteessa (vaikuttaa hakkeen palakokoon) (Uusvaara ja Verkasalo 1987). Hakkeen kaukokuljetuksen aikana tapahtuva painuminen kohottaa luonnollisesti yksittäisen hakekuorman tiiviyyttä ja kuivamassaa. Leimikoiden välisiin eroihin painumalla on hyvin vähäinen vaikutus, koska suurin osa painumasta tapahtuu alkumatalla (Uusvaara ja Heiskanen 1975, Kanninen ym. 1979, Uusvaara 1986). Metsähakkeen kaukokuljetus tapahtuu yleensä pitkäkköjen matkojen takaa ja alkumataltaan kuoppaisia sivuteitä pitkin. Lisäksi muiden, tärkeämpien vaihtelua aiheuttavien tekijöiden vaikutus peittää painuman vaikutuksen alleen.

Kaiken kaikkiaan eri tekijöiden vaikutus metsähakkeen kuormittaiseen kuivamassaan oli tämän tutkimuksen aineistossa seuraavaa suuruusluokkaa:

	%	kg/i-m ³
Hakkuri	2,4 — 24,5	5 — 53
Hakelaji	2,9 — 25,6	5 — 47
Haketusvuodenaika	6,8 — 15,0	12 — 27
Hakepuun kuivusaste	0,5 — 12,0	1 — 16
Kuljetuskalusto		
— traktori/ nuppiauto	1,7 — 7,3	3 — 12
— vetoauto/ perävaunu	0,8 — 7,0	2 — 14

Kuivamassan ja kaukokuljetusmatkan väliset riippuvuudet olivat regressioanalyysissä heikot. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyille hakkeelle hakelajeittain lasketut korrelaatiokerroimet olivat 0,144—0,34 ja varianssin selityksasteet 0,6—13,9 %. Kuivamassan ja kosteuden välillä oli sen sijaan melko selvä riippuvuus. Em. ryhmissä lasketut korrelaatiokerroimet olivat -0,139 — -0,5710 ja varianssin selityksasteet 1,9—31,1 %. Kuivasta ts. ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassat olivat siis korkeammat kuin tuoreesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassat, mikä selittyy kuivan hakkeen tuoretta haketta korkeammalla tiiviydellä.

Taulukossa 7 on esitetty leimikoiden välistä kuormittaisen kuivamassan vaihtelua kuvaavat keskimääräiset tunnusluvut hakkureittain, hakelajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina. Leimikoiden luokittelu myös hakkurin ja puulajin mukaan on — päin vastoin kuin hakkeen kosteuden vaihtelua tutkittaessa — välttämätöntä. Tätä käsitystä tukevat kuvassa 7 hakelajeittain esitetyt leimikkokohtaisten kuivamassojen jakaumat, jotka olivat laajoja ja eräissä tapauksissa

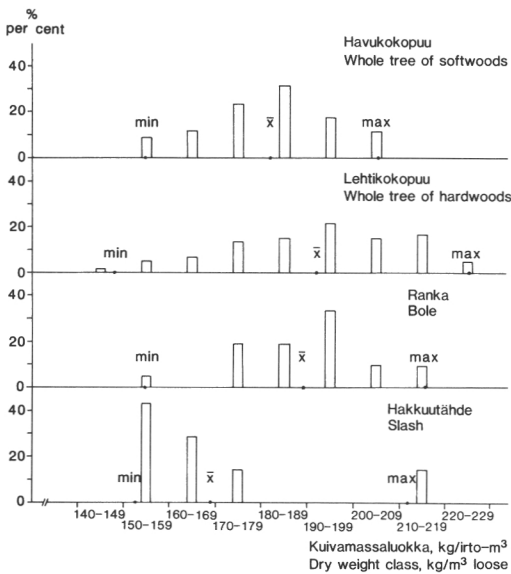
Taulukko 7. Eräillä hakkureilla tehdyn hakkeen kuivamassan ($\text{kg}/\text{i-m}^3$) vaihtelu leimikoiden välillä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina.

Table 7. Variation of dry weight of chips (kg/m^3 loose) made by some chippers between cutting sites by kind of chipwood and degree of dryness in various seasons.

Hakkuri — Chipper Hakepuu — Chipwood	Kesä — Summer			Vuodenaika — Season Talvi — Winter				Yhteensä — Total				
	n	\bar{x}	s	Kuivamassa, $\text{kg}/\text{i-m}^3$		Dry weight, kg/m^3 loose		n	\bar{x}	s	V	
				V	n	\bar{x}	s					V
TT 1000 TU												
Mäntykokopuu, yliv. <i>Pine whole tree, seasoned</i>	3	175,6	(4,1)	(2,3)	2	184,4	(29,1)	(15,8)	5	179,1	15,6	8,7
Koivukokopuu, yliv. <i>Birch whole tree, seasoned</i>	3	192,0	(14,8)	(7,7)	9	207,5	16,2	7,8	12	203,6	16,7	8,2
Leppäkokopuu, yliv. <i>Alder whole tree, seasoned</i>	3	192,7	(3,9)	(2,0)	2	197,5	(4,3)	(2,2)	5	194,6	4,4	2,2
Mäntyranka, yliv. <i>Pine bole, seasoned</i>	2	188,2	(7,1)	(3,8)	1	188,1	..	..	3	188,1	(5,1)	(2,7)
Koivuranka, yliv. <i>Birch bole, seasoned</i>	3	193,8	(21,1)	(10,9)	4	189,7	(17,9)	(9,4)	7	191,5	17,7	9,3
Leppäranka, yliv. <i>Alder bole, seasoned</i>	2	189,9	(12,0)	(6,3)	4	192,6	(1,8)	(0,9)	6	191,7	5,7	3,0
TT 1000 TS												
Leppäkokopuu, yliv. <i>Alder whole tree, seasoned</i>					5	164,2	13,2	8,1	5	164,2	13,2	8,1
TT 1500 LP												
Mäntykokopuu, tuore <i>Pine whole tree, green</i>	3	183,0	(7,2)	(3,9)	4	199,3	(3,7)	(1,9)	7	192,3	10,0	5,2
Kuusikokopuu, tuore <i>Spruce whole tree, green</i>	1	176,8	..	..	3	186,6	(3,7)	(2,0)	4	184,2	(5,8)	(3,1)
—”—, yliv. —”—, seasoned	1	199,6	..	..	2	197,3	(11,2)	(5,7)	3	198,0	(8,1)	(4,1)
Koivukokopuu, tuore <i>Birch whole tree, green</i>	4	187,3	(10,6)	(5,7)	7	210,0	6,4	3,0	11	201,7	13,7	6,8
—”—, yliv. —”—, seasoned	2	195,3	(33,4)	(17,1)	3	207,0	(7,2)	(3,5)	5	202,4	18,6	9,2
Erjo 120-HV-900												
Leppäkokopuu, yliv. <i>Alder whole tree, seasoned</i>					4	186,6	(15,4)	(8,2)	4	18,6	(15,4)	(8,2)
TT 910 R												
Hakkuutähde, tuore <i>Slash, green</i>	2	155,9	(4,7)	(3,0)	2	163,7	(0,1)	(0,9)	4	159,8	(5,2)	(3,3)
Lokomo MS 9												
Hakkuutähde, yliv. <i>Slash, seasoned</i>	2	185,3	(37,5)	(20,2)	1	173,8	..	..	3	181,5	(27,3)	(15,1)

monihuippuisia. Taulukossa 7 eri puulajeja olevista kokopuu- ja rankahakeleimikoista on muodostettu omat ryhmänsä, koska kuiva-tuoretiheys on kuusikokopuuhakkeella keskimäärin 4 % suurempi kuin mäntykokopuuhakkeella ja koivukokopuu- ja rankahakkeella keskimäärin 28 % ja 36 % suurempi kuin leppäkokopuu- ja rankahakkeella (Hakkila 1978). Puulajien väliset erot hakkeen tiivyydessä (Uusvaara ja Verkasalo 1987) vaikuttivat päinvastaiseen suuntaan,

joten itse asiassa kuivamassa oli kuusikokopuuhakkeella keskimäärin 4 % pienempi kuin mäntykokopuuhakkeella ja koivukokopuu- ja rankahakkeella vain 5 % suurempi ja suunnilleen sama kuin leppäkokopuu- ja rankahakkeella. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (t-arvot 1,47, 1,17 ja 0,02). Tulosta on pidettävä epävarmana, koska samaa hakelajia (puu- ja puutavaralajia) olleet leimikot sisälsivät vaihtelevia määriä sivupuulajeja ja hake-erät oli tehty erikokoisesta puusta ja



Kuva 7. Leimikkokohtaisten kuivamassojen jakaumat hakepuulajeittain.

Fig. 7. The dry weight distributions of the cutting sites by kind of chipwood.

eri vuodenaikoina.

Keskimääräiset hakelajikohtaiset kuivamassan keskihajonnat ja variaatiokertoimet olivat melko korkeat, 4,4—27,3 kg/i-m³ ja 2,2—15,1 % keskiarvosta. Vaihdelu oli odotetusti suurinta ylivuotisella hakkuutähdehakeella ja pienintä leppäpuukokohakeella. Kuusikokopuuhakeella ja tuoreella hakkuutähdehakeella hajonta oli varsin vähäistä. Tämä johtui haketusvuodenajan vähäisestä vaikutuksesta näiden hakelajien kuivamassaan. Sen sijaan koivu- ja mäntykokopuuhakkeen kuivamassa oli talvella suurempi kuin kesällä, koska jäätyynyttä puuta hakettaessa palakoko pienenee, oksien osuus vähenee ja hienomurskeen osuus kasvaa. Hakkeen tiiviys kohoaa tällöin korkeaksi. Lisäksi oli havaittavissa, että hakepuun kuivatus kohotti hakkeen kuivamassaa, varsinkin kun haketus tapahtui kesällä. Tämäkin johtui tiiviiden kohoamisesta, sillä varsinkin lehtipuilla puuaineen tiheys alenee ylivuotisen varastoinnin aikana (Pekkala ja Uusvaara 1980). Koivurankahakkeen suurelta vaikuttava kuivamassan vaihtelu johtui hakepuun koon ja sivupuulajien (haapa, leppä) osuuden vaihtelusta leimikoiden välillä. Pienpuurangasta ja normaalista kuitupuusta tehdyn hakkeen välillä havaittiin kuivamassaero 12 kg/i-m³.

332. Kuivamassan vaihtelu leimikoiden sisällä

Metsähakkeen kuormittaisen kuivamassan vaihtelua leimikoiden sisällä aiheuttavat satunnaiset tekijät, jotka johtuvat ilmeisesti puulaji- ja läpimittaluokkakooostumuksen, oksaisuuden sekä puun lahoamisalttiuden vaihtelusta hakepuupinojen ja pinonosien välillä. On myös mahdollista, että hakepuun kuivusaste vaihtelee, mikäli hakepuuta on kaadettu ja ajettu varastoon vähitellen.

Taulukossa 8 on esitetty vaihtelua kuvaavat tunnusluvut hakkureittain, hakelajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina. Keskimääräiset hakelajikohtaiset keskihajonnat ja variaatiokertoimet olivat edelleen melko korkeat, 4,8—17,4 kg/i-m³ ja 2,5—19,6 % keskiarvosta. Leimikoiden väliseen vaihteluun verrattuna niiden sisäinen vaihtelu oli hieman vähäisempää ja erot eri hakelajien välillä olivat pienemmät. Kuitenkin vain kolmessa tapauksessa (ylivuotinen koivu- ja leppäkokopuuhake ja koivurankahake) leimikoiden välisen ja niiden sisäisen vaihtelun erot osoittautuivat varianssianalyysissä merkitseviksi. Hakelajeilla, joilla leimikoiden välinen vaihtelu oli pieni (kuusikokopuuhake, rankahake, eräät leppähakeryhvät), leimikoiden sisäinen vaihtelu oli tätä jonkin verran suurempi, mikä vahvistaa käsitystä leimikoiden sisäisen vaihtelun satunnaisesta luonteesta.

Kun leimikkojako jätettiin pois, hakekuormien välinen kuivamassan vaihtelu kasvoi selvästi mäntyranka- ja eräitä leppähakeryhtiä lukuun ottamatta, joilla leimikoiden sisäinen vaihtelu oli leimikoiden välistä vaihtelua suurempi (taulukko 9). Koko aineistoa koskeva kuivamassan keskihajonta ja variaatiokerroin olivat 23,2 kg/i-m³ ja 12,3 % keskiarvosta. Uusvaara (1986) on laskenut sahanhakeelle vastaaviksi tunnusluvuiksi 8,7 kg/i-m³ ja 5,53 % keskiarvosta.

333. Näytteen koko paino-otanta- ja irtotilavuusotantamittauksessa

Puutavaran mittauslainsäädännössä ei ole mainintaa mittauksen tarkkuusvaatimuksesta. Suomessa ja Ruotsissa on paino-otantamittauksessa katsottu riittäviksi virherajoiksi $\pm 2 - \pm 4$ % 95 %:n todennäköisyydellä ilmaistuna (Leinonen 1972). Sahanhakkeen

Taulukko 8. Eräillä hakkureilla tehdyn hakkeen kuivamassan ($\text{kg}/\text{i-m}^3$) vaihtelu leimikoiden sisällä hakepuulajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina.
 Table 8. Variation of dry weight of chips (kg/m^3 loose) made by some chippers within cutting sites by kind of chipwood and degree of dryness in various seasons.

Hakkuri — Chipper Hakepuu — Chipwood	Vuodenaika — Season					
	Kesä — Summer		Talvi — Winter		Yhteensä — Total	
	Kuivamassa, $\text{kg}/\text{i-m}^3$ — Dry weight, kg/m^3 loose					
	s	V	s	V	s	V
TT 1000 TU						
Mäntykokopuu, ylivuotinen <i>Pine whole tree, seasoned</i>	8,6	4,9	18,3	9,9	12,5	7,0
Koivukokopuu, ylivuotinen <i>Birch whole tree, seasoned</i>	11,4	5,9	13,1	7,1	12,7	6,2
Leppäkokopuu, ylivuotinen <i>Alder whole tree, seasoned</i>	10,8	5,6	10,1	5,1	10,5	5,4
Mäntyranka, ylivuotinen <i>Pine bole, seasoned</i>	11,2	6,0	25,3	13,5	15,9	8,5
Koivuranka, ylivuotinen <i>Birch bole, seasoned</i>	3,7	1,9	10,5	5,5	7,6	4,0
Leppäranka, ylivuotinen <i>Alder bole, seasoned</i>	6,6	3,4	8,1	4,2	7,6	4,0
TT 1000 TS						
Leppäkokopuu, ylivuotinen <i>Alder whole tree, seasoned</i>	..	..	11,0	6,7	11,0	6,7
TT 1500 LP						
Mäntykokopuu, tuore <i>Pine whole tree, green</i>	9,2	5,0	8,8	4,4	9,0	4,7
Kuusikokopuu, tuore <i>Spruce whole tree, green</i>	5,5	3,1	12,5	6,7	10,7	5,8
—”, ylivuotinen —”, seasoned	11,4	5,7	7,7	3,9	8,9	4,5
Koivukokopuu, tuore <i>Birch whole tree, green</i>	10,6	5,7	9,2	4,4	9,7	4,8
—”, ylivuotinen —”, seasoned	7,0	3,6	7,5	3,6	7,3	3,6
Erjo 120-HV-900						
Leppäkokopuu, ylivuotinen <i>Alder whole tree, seasoned</i>	..	..	4,8	2,5	4,8	2,5
TT 910 R						
Hakkuutähde, tuore <i>Slash, green</i>	8,6	5,5	10,3	6,3	9,4	5,9
Lokomo MS 9						
Hakkuutähde, ylivuotinen <i>Slash, seasoned</i>	15,6	8,4	21,2	12,2	17,4	9,6

painomittauksessa katsotaan tarpeelliseksi $\pm 3\%$:n tarkkuusvaatimus (Uusvaara 1986), mitä voitaneen pitää riittävänä myös metsähakkeen painomittauksessa.

Peruspopulaation (kaikkien toimitettujen hakekuormien) osittelutarve hakkeen painotantamittauksessa riippuu — kuten hakkeen kosteusotantamittauksessa (luku 324) — mitaustulosten käyttötarkoituksesta. Kuivissa 8 ja 9 on esitetty tietyinä aikavälinä toimitetun hakkeen keskimääräisen kuivamassan määrittämiseksi tarvittavien kuivamassakoe-kuormien (punnitus ja kosteusnäytteen otto)

lukumäärät, kun kuormien lukumäärä vaihtelee välillä 5—500. Tarkastelussa ovat mukana Suomen yleisimmät hakkurit, joita käytetään keskisuurten lämpölaitosten polttohakkeen (TT 1000 TU), metsäteollisuuden raaka-aineeksi käytettävän hakkeen (TT 1500 LP) sekä lämpövoimaloiden ja teollisuuden lämpölaitosten polttohakkeen (TT 910 R ja Lokomo MS9) tekoon. TT 1000 TU -hakkurilla tehty hake oli kuivusasteeltaan ylivuotista ja TT 1500 LP -hakkurilla tehty oli tuoretta. Vaihtoehtoisina kuivamassan mittauksen tarkkuusvaatimuksina on käytet-

Taulukko 9. Eräillä hakkureilla tehdyn hakkeen kuivamassan ($\text{kg}/\text{i-m}^3$) vaihtelu hakekuormien välillä hakepuulajeittain ja kuivuusasteittain eri vuodenaikoina.
 Table 9. Variation of dry weight of chips (kg/m^3 loose) made by some chippers between chip loads by kind of chipwood and degree of dryness in various seasons.

Hakkuri — Chipper Hakepuu — Chipwood	Vuodenaika — Season								
	Kesä — Summer			Talvi — Winter			Yhteensä — Total		
	Kuivamassa, $\text{kg}/\text{i-m}^3$ — Dry weight, kg/m^3 loose								
	n	s	V	n	s	V	n	s	V
TT 1000 TU									
Mäntykokopuu, ylivuotinen <i>Pine whole tree, seasoned</i>	12	7,7	4,3	14	23,9	12,5	26	19,3	10,4
Koivukokopuu, ylivuotinen <i>Birch whole tree, seasoned</i>	56	14,1	7,1	62	20,9	9,8	118	19,0	9,2
Leppäkokopuu, ylivuotinen <i>Alder whole tree, seasoned</i>	13	7,3	3,9	13	10,8	5,5	26	9,7	5,0
Mäntyranka, ylivuotinen <i>Pine bole, seasoned</i>	18	15,7	8,3	3	1,3	0,6	21	15,5	8,2
Koivuranka, ylivuotinen <i>Birch bole, seasoned</i>	19	12,4	5,8	23	20,6	10,4	42	18,6	9,1
Leppäranka, ylivuotinen <i>Alder bole, seasoned</i>	6	11,3	5,9	13	5,5	3,0	19	7,4	3,9
TT 1000 TS									
Leppäkokopuu, ylivuotinen <i>Alder whole tree, seasoned</i>				23	16,1	9,9	23	16,1	9,9
TT 1500 LP									
Mäntykokopuu, tuore <i>Pine whole tree, green</i>	41	10,6	5,8	27	10,8	5,4	68	16,1	8,6
Kuusikokopuu, tuore <i>Spruce whole tree, green</i>	7	5,5	3,1	36	12,8	6,9	43	12,4	6,7
—”—, ylivuotinen —”—, seasoned	12	11,4	5,7	19	11,3	5,9	31	12,3	6,3
Koivukokopuu, tuore <i>Birch whole tree, green</i>	21	12,6	6,8	54	10,3	4,9	75	15,7	7,7
—”—, ylivuotinen —”—, seasoned	14	25,2	13,1	34	9,3	4,4	48	17,8	8,7
Erjo 120-HV-900									
Leppäkokopuu, ylivuotinen <i>Alder whole tree, seasoned</i>				27	13,0	7,3	27	13,0	7,3
TT 910 R									
Hakkuutähde, tuore <i>Slash, green</i>	19	8,9	5,8	20	11,8	7,2	39	11,8	7,4
Lokomo MS 9									
Hakkuutähde, ylivuotinen <i>Slash, seasoned</i>	19	31,1	16,8	11	18,7	11,0	30	27,7	15,4

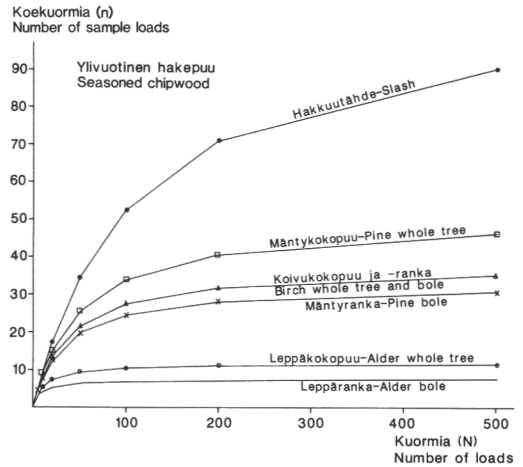
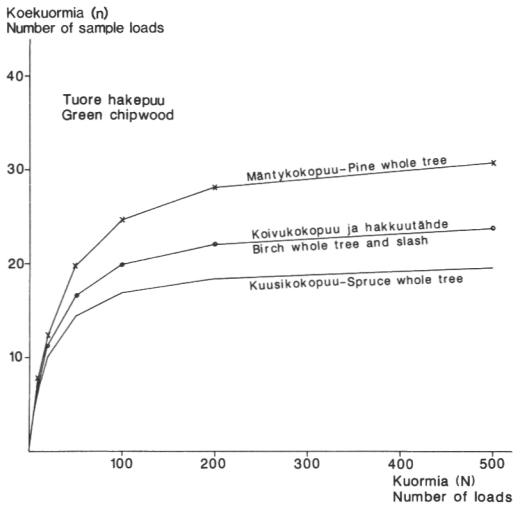
ty $\pm 3\%$ (3—4 $\text{kg}/\text{i-m}^3$) ja $\pm 5\%$ (8—10 $\text{kg}/\text{i-m}^3$).

Tuoreesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassa voitiin määrittää pienemmällä otoksella kuin ylivuotisesta puusta tehdyn. Puulajien väliset erot olivat varsin selvät. Erityisesti leppähakkeella tarvittavat otokset olivat pienemmät kuin muista puulajeista tehdyllä hakkeella. Männyllä ja lepällä otokset olivat lisäksi jonkin verran pienemmät silloin, kun hake tehtiin kokopuun sijasta karsitusta rangasta. Koivulla ei vastaavaa eroa esiintynyt mahdollisesti siitä syystä, että koivurankaerät olivat varsin heterogeenisiä sivupuulajien

osuuden ja läpimitan suhteen.

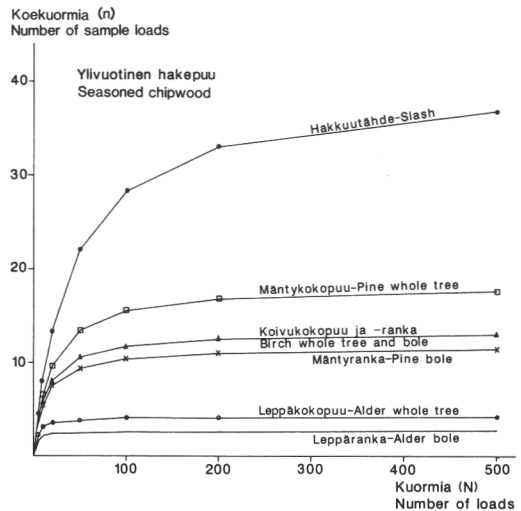
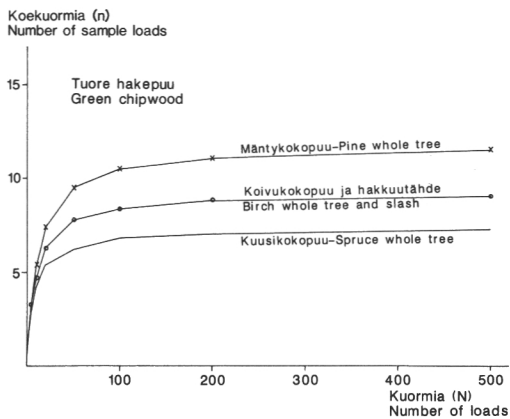
Polttohaketoimitusten yhteydessä tapahtuvaa paino-otantamittausta ajatellen erot eri hakelajeilla tarvittavien otoskokojen välillä olivat varsin suuret. Otannan yksinkertaistamiseksi voidaan kuitenkin ajatella hakelajien ryhmittelyä siten, että otoskoko on kussakin ryhmässä vakio. Kysymykseen tulevat ryhmät olisivat tällöin:

1. Leppähake
2. Mänty- ja koivuhake
3. Tuore hakkuutähdehake
4. Ylivuotinen hakkuutähdehake



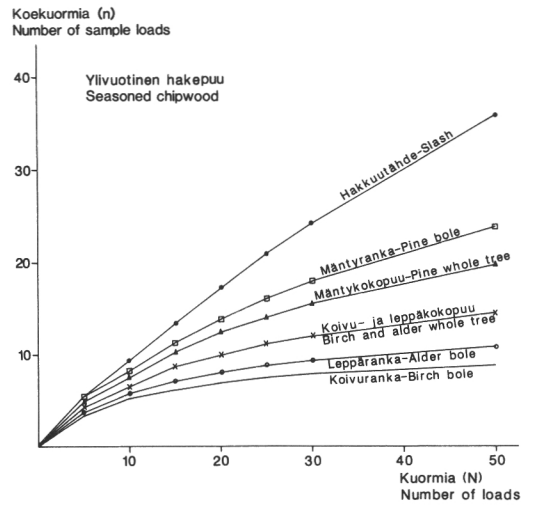
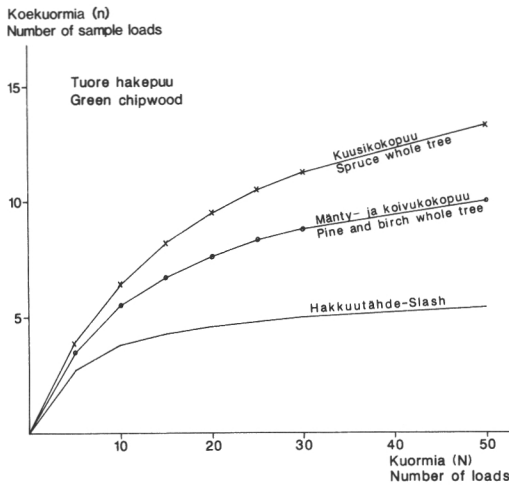
Kuva 8. Tietynä aikavälinä toimitetun tuoreesta ja yliuotisesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassan (kg/i-m^3) määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 3\%$. Hakkurit: tuore kokopuu — TT 1500 LP, tuore hakkuutähde — TT 910 R, yliuotinen kokopuu ja ranka — TT 1000 TU, yliuotinen hakkuutähde — Lokomo MS9.

Fig. 8. Number of sample loads needed to determine the average dry weight (kg/m^3 loose) of chips made of green and seasoned wood delivered during certain period by kind of chipwood. The required accuracy $\pm 3\%$. The chippers: green whole tree — TT 1500 LP, green slash — TT 910 R, seasoned whole tree and bole — TT 1000 TU, seasoned slash — Lokomo MS9.



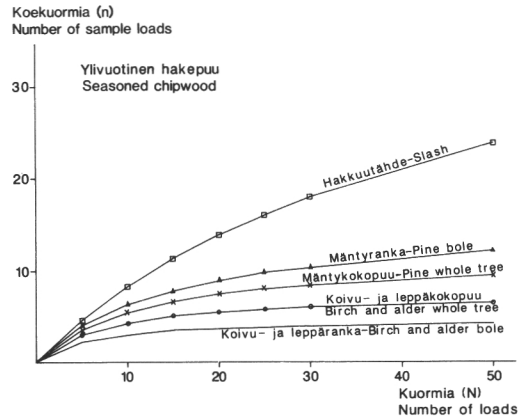
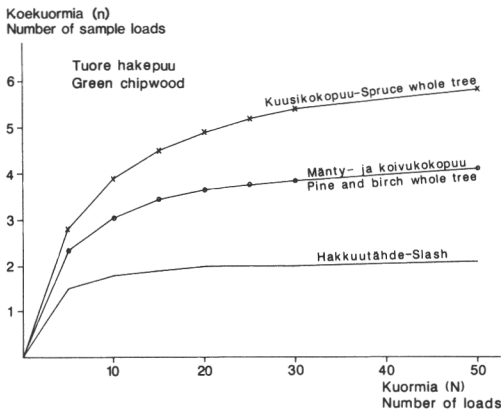
Kuva 9. Tietynä aikavälinä toimitetun tuoreesta ja yliuotisesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassan (kg/i-m^3) määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 5\%$. Hakkurit: tuore kokopuu — TT 1500 LP, tuore hakkuutähde — TT 910 R, yliuotinen kokopuu ja ranka — TT 1000 TU, yliuotinen hakkuutähde — Lokomo MS9.

Fig. 9. Number of sample loads needed to determine the average dry weight (kg/m^3 loose) of chips made of green and seasoned wood delivered during certain period by kind of chipwood. The required accuracy $\pm 5\%$. The chippers: green whole tree — TT 1500 LP, green slash — TT 910 R, seasoned whole tree and bole — TT 1000 TU, seasoned slash — Lokomo MS9.



Kuva 10. Tuoreesta ja ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen leimikkokohtaisen kuivamassan määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 3\%$. Hakkurit: tuore kokopuu – TT 1500 LP, tuore hakkuutähde – TT 910 R, ylivuotinen kokopuu ja ranka – TT 1000 TU, ylivuotinen hakkuutähde – Lokomo MS9.

Fig. 10. Number of sample loads needed to determine the average dry weight of chips made of green and seasoned wood from certain cutting site by kind of chipwood. The required accuracy $\pm 3\%$. The chippers: green whole tree – TT 1500 LP, green slash – TT 910 R, seasoned whole tree and bole – TT 1000 TU, seasoned slash Lokomo – MS9.



Kuva 11. Tuoreesta ja ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen leimikkokohtaisen kuivamassan määrittämiseen tarvittavien koekuormien lukumäärä hakepuulajeittain. Tarkkuusvaatimus $\pm 5\%$. Hakkurit: tuore kokopuu – TT 1500 LP, tuore hakkuutähde – TT 910 R, ylivuotinen kokopuu ja ranka – TT 1000 TU, ylivuotinen hakkuutähde – Lokomo MS9.

Fig. 11. Number of sample loads needed to determine the average dry weight of chips made of green and seasoned wood from certain cutting site by kind of chipwood. The required accuracy $\pm 5\%$. The chippers: green whole tree – TT 1500 LP, green slash – TT 910 R, seasoned whole tree and bole – TT 1000 TU, seasoned slash – Lokomo MS9.

Metsäteollisuuden haketoimitusten (tuore kokopuuhaake) yhteydessä tapahtuvassa paino-otantamittauksessa on tarvittava otos kuusella pienempi kuin männyllä. On syytä korostaa, että sama otoskoko eri puulajeilla tarkoittaa tässä vain samaa koekuormien lukumäärää — ei sitä, että otanta voitaisiin suorittaa yhdestä eri puulajeja sisältävien haakekuormien peruspopulaatiosta.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty koekuormien lukumäärät määritettäessä leimikkokohtaisia kuivamassoja. Tarvittavat otokset olivat hakelajista riippuen joko suuremmat tai pienemmät kuin määritettäessä pelkkiä hakelajikohtaisia kuivamassoja. Erityisesti on huomattava otosten selvä pieneminen tärkeimmillä metsäteollisuuden raaka-aineeksi käytettävillä hakelajeilla, tuoreella mänty- ja koivukokopuuhaakeella, sekä tuoreella hakkuutähdehaakeella ja koivurankahakeella. Tämän normaalina pidettävän suuntauksen vastaisesti otoskoot kasvoivat ylivuotisella mäntyranka-, leppä- ja hakkuutähdehaakeella. Syy tähän oli laskennallinen, sillä kuivamassojen keskihajonta leimikoiden sisällä oli suurempi kuin kaikkien samaa hakelajia oleiden kuormien välillä. Tämä puolestaan johtui pienestä yhdeltä leimikolta peräisin olevien kuormien lukumäärästä. Hakelajien väliset erot olivat samansuuntaiset ja yleensä pienemmät kuin hakelajikohtaisia kuivamassoja määritettäessä. Polttohaketoimituksissa voidaan seuraavilla hakelajiryhmillä käyttää vakio-otoskokoja:

1. Koivu- ja leppärankahake
2. Koivu- ja leppäkokopuuhaake
3. Mäntykokopuu- ja mäntyrankahake
4. Tuore hakkuutähdehaake
5. Ylivuotinen hakkuutähdehaake

Ylivuotista hakkuutähdehaaketta lukuun ottamatta otokset eivät ole kohtuuttoman suuria paino-otannan tarkoituksenmukaisuutta ajatellen. Metsäteollisuuden haketoimituksissa (tuore kokopuuhaake) voidaan mänty- ja koivukokopuuhaakeella käyttää yhteistä otoskokoja.

Metsähakkeen irtotilavuusotantamittauksessa, jossa kaikki haakekuormat punnitaan, on tarkoituksena määrätä muuntokerroin kuivamassatulosten muuntamiseksi irtotilavuustuloksiksi ($i\text{-m}^3/\text{kuiva-ainetoni}$). Koska muuntokerroin on kuivamassan ($\text{kg}/i\text{-m}^3$) käänteisluku, saavutetaan muuntokerroimen määrittämisessä tarkkuus (%)

$$100 \times \left(\frac{1}{1 - 0,0 p} - 1 \right) = 100 \times \frac{0,0 p}{1 - 0,0 p},$$

kun kuivamassan määrityksen tarkkuus on p %. Kuivamassan määrityksen tarkkuudet 3 ja 5 % johtavat muuntokerroimen määrityksessä tarkkuuksiin 3,09 % ja 5,26 %. Erot ovat niin pienet, että käytännössä esitetyillä otoksilla päästään irtotilavuusotantamittauksessa yhtä hyvään tarkkuuteen kuin paino-otantamittauksessa.

4. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Metsähakkeen painomittaus ei ole yleistynyt toivotulla tavalla. Eräänä syynä tähän on ollut epävarmuus välttämättömän kosteuden mittauksen luotettavuudesta. Lisäksi kosteuden mittaus sinänsä on ollut varsin työlästä ja aikaavievää toistaiseksi ainoalla luotettavaksi tunnustetulla ja standardisoidulla menetelmällä, lämpökaappimenetelmällä. Menetelmä edellyttää erityisen kosteusnäytteen ottamisen haakekuormasta manuaalisesti, mikä aiheuttaa epävarmuutta näytteen edustavuudesta.

Sopivia mittareita, joilla hakkeen kosteus voidaan määrittää suoraan kuormasta ja joil-

la mittaustulokset voidaan tulostaa automaattisesti, ei ole ollut käytettävissä. Erilaisia mittareita on kyllä olemassa, mutta niiden käyttöä eri olosuhteissa haittaavat useat hakkeen, varsinkin kokopuu- ja hakkuutähdehaakkeen, yleisestä epähomogeenisuudesta johtuvat tekijät:

- jäätyneisyys
- kosteuden vaihtelu
- lämpötilan vaihtelu
- palakoon vaihtelu
- tiiviiden vaihtelu
- raaka-aineen tiheyden vaihtelu

Lisäksi tarkimpien mittareiden käyttö edellyttää hakkeen jauhamisen ja näin saadun hienon materiaalin sekoittamisen. On mahdollista, että hakkeen alkuperäinen kosteus laskee jauhamisen vaikutuksesta. Tietämys eri kosteusmittareiden soveltuvuudesta on edelleen puutteellista, joten aihepiiri kaipaa jatkotutkimuksia.

Metsähakkeen punnitsemiseen on käytävissä sopivaa vaakakalustoa. Ehdottoman tarkkojen kiinteiden ajoneuvovaakojen hankintahinta on useimmiten liian korkea ainakin pienille ja keskiuurille lämpölaitoksille (kesällä 1986 200 000 — 300 000 mk). Siirrettävät akselipainoavat, joiden hankintahinta on varsin alhainen (30 000 — 40 000 mk), ovat alustavissa kokeiluissa osoittautuneet kohtalaisen lupaaviksi. Riittävä mittaustarkkuus ja mittaustyön ergonomia edellyttävät mittausten suorittamista kevyesti katetussa tilassa, jossa on kiinteät paikat vaaka-antureille. Esim. TVL:llä on hyviä kokemuksia teiden kantavuustutkimuksia varten suoritetuista ajoneuvojen punnituksesta akselipainoavilla.

Kuormaotannan käytöllä hakekuormien punnituksessa ja ennen kaikkea hakkeen kosteuden mittauksessa on mahdollista vähentää näiden hakkeen vastaanoton työvaiheiden ajanmenekkiä ja kustannuksia. Hakkeen painomittauksessa on tällöin mitattava kaikkien kuormien irtotilavuus. Koko mittauseuran kuivamassa määrätään esim. liukuvan keskiarvon menetelmällä (esim. Leinonen 1972) määritettävän irtotilavuusyksikön kuivamassasisällön avulla. Otannan käyttö on tarkoituksenmukaista, kun punnitseminen aiheuttaa lisäajanmenekkiä pelkän irtotilavuuden mittaukseen verrattuna. Tämä taas riippuu hakkeen vastaanoton järjestelystä. Eniten hyötyä otannasta on lämpölaitoksille, joilla ei ole omaa vaakaa ja jotka joutuvat ostamaan ulkopuolisia vaakapalveluja.

Periaatteessa kuormaotantaa on mahdollista käyttää myös tilanteessa, jossa kaikki hakekuormat punnitaan ja vain otoksesta mitataan irtotilavuus muutokertoimen määrittämiseksi. Menetelmä soveltuisi lähinnä metsäteollisuuslaitoksille, joilla on käytävissä oma autovaaka. Myös tässä tapauksessa lienee liukuvan keskiarvon menetelmä tarkoituksenmukainen.

Otantamittausten menetelmiä käsitellessä on mittaustuloksen tarkkuusvaatimus keskeisellä sijalla. Tarkkuusvaatimus määrää paljolti otokseen, mikä vaikuttaa olennaisesti mene-

telmän käyttökelpoisuuteen. Mittausmenetelmän tarkkuusvaatimus riippuu mittaustulosten käyttötarkoituksesta. Metsähakkeen mittaustulosten käyttötarkoituksia ovat lähinnä seuraavat:

1. Hakkeen myyjän (metsänomistaja tai hakkeen välittäjä) kannalta
 - hakkeen kauppahinta
 - hakepuun kantohinta
2. Hakkuun ja kuljetuksen suorittajan kannalta
 - hakkuupalkat
 - metsäkuljetusmaksut
 - haketusmaksut
 - hakkeen kaukokuljetusmaksut
3. Hakkeen hankkijan ja käyttäjän kannalta
 - kauppahinta (määrä ja laatu)
 - palkat ja maksut
 - kuljetuksen valvonta
 - raaka- ja/tai polttoaineen käytön seuranta

Eri käyttötarkoituksista lienevät kauppahinnan sekä palkkojen ja maksujen määräämiseksi tarvittavien mittaustulosten tarkkuusvaatimukset suurimmat. Toiminnan suunnittelua sekä raaka- ja polttoaineen käytön seuranta varten tehtävien mittausten tarkkuusvaatimukset ovat suhteellisesti pienimmät.

Puutavaran mittaussäännöissä ei ole mainintaa mittausten tarkkuusvaatimuksesta. Tässä tutkimuksessa käsiteltiin hakkeen kosteuden mittausta sekä pelkän kosteuden että kuivamassan määrittämisen kannalta ja erikseen kuivamassan mittausta. Pelkän kosteuden mittauksessa tarkkuusvaatimuksena pidettiin $\pm 5\%$ ($\pm 1,5$ — $\pm 3,0$ %-yksikköä), koska useissa polttohakkeen toimitussopimuksissa hakkeen hinta on porrastettu 2 %-yksikön välein. Hakkeen kuivamassan mittausten tarkkuusvaatimuksena pidettiin $\pm 3\%$ (vrt. sahanhake, Uusvaara 1986), mikä edellyttää kosteuden mittaukselta $\pm 2\%$ tarkkuutta, jos oletetaan, että tuoremassa voidaan mitata tarkasti punnitsemalla. Mainittakoon, että Ruotsissa käytävissä puutavaran otantamittausten menetelmissä sallitaan 15000 m³ suuremmilla mittauserillä korkeintaan 1 % ja tätä pienemmillä mittauserillä korkeintaan 2 % suhteellinen keskivirhe erän kiintomitassa (Leinonen 1972). 95 % todennäköisyydellä ilmaistuna nämä vastaavat noin ± 2 ja ± 4 % mittaustarkkuuksia. Korostettakoon, että ”viimeiset prosentit” tarkkuudessa ovat mittausten taloudellisuutta ajatellen kalliita.

Tarkkuusvaatimukseen liittyy olennaisesti kysymys näytteen minimikoosta, kun mittauserä on pieni. Metsähakkeen kaupallisessa

mittauksessa tämä on tavallinen ongelma, sillä yhden hakkeenmyyjän leimikolta kertyy harvoin esim. yli 20 hakekuormaa. Ruotsin otantamittaussäännöksissä on määrätty, että näytteen on oltava vähintään kolmekymmentä yksikköä, mutta jos perusjoukko on pienempi kuin 7500 m³, riittää viisitoista yksikköä, kunhan em. tarkkuusvaatimus täytetään (Leinonen 1972).

Metsähakkeen kosteuden mittauksessa kuormaotantaa käyttäen otoskoko on suurempi pidettäessä peruspopulaationa yhden hakkeenmyyjän leimikon sijasta kaikkien tietynä aikana toimitettujen samaa hakelajia olevien hakekuormien joukkoa, kun peruspopulaation koko on molemmissa tapauksissa sama (kuvat 3 ja 4, s.17 sekä 5 ja 6, s.18). Tosiasiassa tietynä aikavälinä otettavien kosteusnäytteiden lukumäärä on ensin mainitussa tapauksessa kuitenkin 20—70 % pienempi, koska viimeksi mainitussa tapauksessa peruspopulaatiot ovat pieniä. Otantaa kannattaa käyttää, mikäli peruspopulaatio on vähintään seuraavassa asetelmassa esitetyn kokoinen:

Yksittäisen hakekuorman kosteuden mittauksessa päästään samaan tarkkuuteen pienemmällä näytteellä ottamalla näyteyksiköt hakekuorman sijasta hakekasasta. Teoreettisen laskelman perusteella saatiin seuraavat hakekasasta otettavien yhden litran näyteyksiköiden lukumäärät:

Hakepuu	Tarkkuusvaatimus, %	
	2	5
Kokopuu ja ranka, tuore	3—9	1—2
Kokopuu ja ranka, tuore sekä hakkutähde	35—90	6—15

Käytännön toiminnassa lienee asetelmassa ensin mainittujen hakelajien osalta päästy varsin tyydyttävään kosteuden mittaustarkkuuteen. Sen sijaan viimeksi mainittujen hakelajien osalta, jotka ovat tyypillistä polttohaketta, lienee toiminnassa huomattavasti parantamisen varaa.

Tavoite	Kosteuden mittauksen Tarkkuusvaatimus, %	Ositus toimitusajan mukaan		Ositus leimikon mukaan	
		Selluhake	Polttohake	Selluhake	Polttohake
		Peruspopulaatio			
Kuivamassan mittausta Pelkän kosteuden mittausta	±2	30	30	10	20
	±5	10	10	5	5

Tuoreella havukokopuu- ja hakkuutähdehakeella voidaan käyttää yhteistä otoskokoja ja muilla hakelajeilla yhteistä otoskokoja. On huomattava, että yhteisestä otoskoosta huolimatta eri hakelajeja on otannassa käsiteltävä omina ositteinaan, koska hakelajien keskikosteudet eroavat huomattavasti toisistaan.

Tässä tutkimuksessa käytetty hakekuormien luokittelu hakelajin mukaan on riittävä käytännön toimintaa varten. Yleensä metsähake luokitellaan selluteollisuudessa havu- ja lehtipuuhakkeeksi ja lämpölaitoksilla ankarimmillaan esim. havu- ja lehtikokopuuhakkeeksi ja rankahakkeeksi (keskisuuret lämpölaitokset) tai vihreäksi ja ruskeaksi hakkuutähdehakeeksi (teollisuuden lämpölaitokset, lämpövoimalat).

Otettaessa kosteusnäyte hakekasasta menetelmällä, joka lienee suunnilleen vastannut käytännön toiminnassa käytettäviä menetelmiä, hakekuorman keskimääräinen kosteus yleensä aliarvioitiin. Näin tapahtui varsinkin silloin, kun hakkeen kosteus oli korkea (tuoreesta puusta tehty hake). Selvää syytä tähän ei ilmennyt. Korkeintaan on mahdollista, että hakkeen kosteimmat jakeet, hienojae ja talvella lumi, ovat näytteenottomenetelmän vuoksi (luku 21) osittain lajittuneet lopullisesta kosteusnäytteestä.

Tässä tutkimuksessa ei ole ollut mahdollista erottaa toisistaan hakkeen kosteuden todellista ja kosteuden mittaumenetelmästä aiheutuvaa vaihtelua. Tämän vuoksi hakkeen kosteuden vaihtelu on tosiasiassa hieman taulukoissa 1 ja 2 esitettyä vähäisempää. Esi-

tettyjen otoskokojen oikeellisuuden kannalta asialla ei ole merkitystä mikäli kuormakoh-
taisen näytteen otossa käytettävä menetelmä
on samanlainen kuin tässä tutkimuksessa
käytetty.

Metsähakkeen kuivamassan mittauksessa
kuormaotantamenetelmällä pätevät otosko-
koon nähden samat lainalaisuudet kuin koste-
uden mittauksessa. Otsokoot ovat kuiten-
kin pienemmät, koska tutkittujen luokkien
sisällä kuivamassan vaihtelu on kosteuden
vaihtelua vähäisempää (kuvat 8—11). Kysy-
myksen ollessa polttohakkeesta voidaan eri
hakelajit yhdistää ryhmiksi, joilla kullakin on
oma otoskokonsa:

Hakelaji	Pienin peruspopulaatio, jolla otantaa kannattaa käyttää	
	Toimitusajan mukainen ositus Kuormia, kpl	Leimikon mukainen ositus
Leppähake	10	5
Mänty- ja koivuhake	20	15
Tuore hakkuutähdehake	10	5
Ylivuotinen hakkuutähdehake	50	50

Metsäteollisuuden haketoimituksissa (tu-
ore kokopuuhake) riittää kuusihakkeella pie-
nempi otos kuin mänty- ja koivuhakkeella.
Pienimmät peruspopulaatiot toimitusajan ja
leimikon mukaisessa osituksessa, joilla otan-
taa kannattaa käyttää, ovat tällöin 20 ja 10
hakekuormaa.

On syytä korostaa, että esitetyt otsokoot
johtavat asetettujen tarkkuusvaatimusten
mukaisiin kuivamassatuloksiin vain sillä
edellytyksellä, että kuivamassan vaihtelu to-
della on esitettyä suuruusluokkaa. Mittaus-
menetelmästä johtunutta ja kuivamassan
vaihteluun vaikuttanutta kosteuden vaihtelua
ei laskelmassa ole voitu ottaa huomioon. Esi-
tetty otantamenetelmä edellyttää lisäksi, että
punnitseminen ja kosteusnäytteen otto koh-
distuvat samoihin kuormiin.

Metsähakkeen irtotilavuuden mittauksessa
kuormaotantamenetelmää käyttäen tarvitta-
vat otsokoot ovat käytännössä samat kuin
kuivamassan mittauksessa, koska irtotila-
vuuden ja kuivamassan välinen muuntoker-
roin saadaan 3,09 ja 5,26 %:n tarkkuudella,
kun kuivamassa on määritetty 3 ja 5 %:n
tarkkuudella.

5. YHTEENVETO

Irtotilavuusmittaus toimituspaikalla on
yhä yleisin metsähakkeen mittausmenetelmä
Suomessa. Menetelmä on riittävän tarkka ja
käytännöllinen, jos toimitetun hakkeen omi-
naisuudet eivät vaihtele paljoa. Tilanne on
kuitenkin harvoin tällainen. Sen takia paino-
mittauksen ja kosteusnäytteen oton avulla
tapahtuvaa kuivamassan määrittäystä on suo-
siteltu useissa yhteyksissä. Metsähakkeen
painomittaus ei ole kuitenkaan yleistynyt.
Suurimmat syyt tähän ovat olleet: sopivan
vaakakaluston puute ja korkea hankintahin-
ta, vaikeudet kuivamassayksiköiden muun-
tamisessa metsätaloudessa perinteisiksi kiin-
totilavuusyksiköiksi ja epäilykset välttämät-
tömän kosteuden mittauksen luotettavuudes-
ta. Kosteusnäytteiden käsittely on lisäksi
melko työlästä ja aikaa vievää.

Eräs mahdollisuus helpottaa metsähak-
keen painomittauksia on käyttää kuormaotan-

tamenetelmiä kosteuden ja/tai kuivamassan
määrittämisessä. Menetelmät vaativat joka ha-
kekuorman irtotilavuuden mittauksen. Tämä
tutkimus käsittelee näitä kysymyksiä. Tekni-
ikkaa ja laitteita tutkitaan kirjallisuuden
perusteella. Tutkimuksen empiirisen osan
päätaavoitteet ovat määrittää kosteuden ja
kuivamassan vaihtelun suuruus eri leimikoil-
ta ja samalta leimikolta ajettujen hakekuor-
mien välillä ja yksittäisen hakekuorman sisäl-
lä. Näitä tunnuslukuja käytetään laskettaessa
erilaisen hakkeen kosteuden ja kuivamassan
mittauksessa tarvittavan otoksen koko erilai-
silla mittauksen tarkkuusvaatimuksilla. Li-
säksi tutkitaan yhdestä kuormasta otettavan
kosteusnäytteen oton tekniikkaa (tarvittavien
näyteyksiköiden lukumäärä, näytteenotto-
kohta).

Metsähakkeen kosteuden mittaustekniikka
on ollut ongelmana, sillä ainoa luotettavaksi

hyväksytty ja standardisoitu menetelmä, uunikuivatusmenetelmä, on hidas ja työläs. Lisäksi se vaatii manuaalisen kosteusnäytteen oton hakekuormasta, jolloin näytteen edustavuus on epävarmaa. Sopivia mittareita, joilla kosteustulos voitaisiin tulostaa automaattisesti, ei ole ollut käytettävissä. Alunperin sellun keiton sekä sellun, paperin, sahatavaran, polttoturpeen, heinän ja viljan laadun valvontaan kehitettyjen mittareiden käyttöä hakkeen kosteuden mittauksessa haittaavat monet tekijät. Tärkeimmät niistä ovat mittausvirheet, joita aiheuttavat hakkeen jäätyneisyyden, kosteuden, lämpötilan, pakkautuneisuuden ja tiheyden vaihtelut. Lisäksi tärkeimpien mittareiden käyttö edellyttää hakenäytteen jauhamisen, mikä todennäköisesti alentaa kosteutta. Tietämys ja kokemukset erilaisista mittareista ovat kuitenkin puutteellisia, joten jatkotutkimusten tarvetta on olemassa.

Empiirinen tutkimusaineisto oli sama, jota käytettiin metsähakkeen tiiviyyttä ja käyttötekniisiä ominaisuuksia käsittelevässä tutkimuksessa (Uusvaara ja Verkasalo 1987). Aineisto käsitti 879 hakekuormaa 134 leimikolta kosteusvaihtelun tutkimuksia ja 634 hakekuormaa 84 leimikolta kuivamassavaihtelun tutkimuksia varten. Aineisto yhden hakekuorman sisäisen kosteuden vaihtelun tutkimuksia varten käsitti 45 hakekuormaa (20 kosteusnäytettä kustakin hakekuormasta).

Kuormien välinen kosteuden vaihtelu oli 1,5—2,5 -kertainen niiden sisäiseen verrattuna (variaatiokertoimet 11,8—20,8 % ja 3,8—15,3 % keskiarvosta, taulukot 1 ja 2). Vaihtelu oli suurimmillaan hakkuutähdehakeella ja pienimmillään lehtikokopuuhakeella. Vaihtelu oli talvella suurempaa kuin kesällä ja ylivuotisella hakeella suurempaa kuin tuoreella. Kuormien sisällä vaihtelu oli 40—60 % pienempi kuin kuormien välillä (variaatiokerroin 2,8—12,7 %, taulukko 3). Vaihtelu oli hakekasasta kuorman purkamisen jälkeen otettujen näytteiden välillä hieman suurempi kuin kuormasta otettujen näytteiden välillä. Tämä johtui hakkeen sekoittumisesta kuormaa purettaessa. Sekoittuminen oli tehokkaampaa, kun hakekuorma purettiin kippaamalla (varsinkin sivulle kippaamalla) kolakuljettimella purkamisen sijasta (taulukko 4). Yksittäisen näytteen ja 20 näyteyksikön keskiarvon perusteella saadun kosteustuloksen välillä oli systemaattisia eroja. Yleensä kuorman kosteus aliarvioitiin yhden näytteen perusteella, varsinkin jos hake oli tuoretta.

Hakkeen kuivamassan vaihtelu johtui enimmäkseen hakkurista, hakelajista, hakepuun kuivuuasteesta ja haketusvuodenajasta — ja myös hakkeen kosteudesta, mikä viittaa tuoreen ja ylivuotisen hakkeen välisiin eroihin. Yleensä vaihtelu oli hieman suurempi leimikoiden välillä kuin niiden sisällä (variaatiokertoimet 2,2—15,1 % ja 2,5—19,6 %, taulukot 7 ja 8). Enimmäkseen erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

Kuormaotantamenetelmien soveltavuus metsähakkeen, tai minkä tahansa puutavara-lajin, mittaukseen riippuu mitattavan ominaisuuden vaihtelusta ja mittauksen tarkkuusvaatimuksesta (mitkä tekijät määräävät otoskoon), käytännöllisestä toteutusmahdollisuudesta ja kustannuksista. Tässä tutkimuksessa kosteuden määrittämisen tarkkuusvaatimukset olivat $\pm 2\%$ ja $\pm 5\%$, joista ensimmäinen johtaa $\pm 3\%$:n tarkkuuteen kuivamassan määrittämisessä ja toinen on riittävä polttohakkeen kosteuden määrittämiseen lämpölaitoksilla. Kuivamassan määrittämisen tarkkuusvaatimukset olivat $\pm 3\%$ (vrt. sahanhake, Uusvaara 1986) ja $\pm 5\%$.

Kuormaotantamenetelmiä voidaan käyttää kosteuden ja kuivamassan määrittämiseen erästä, joka käsittää joko tietyn leimikon (ostoterän) kuormat tai tietynä aikavälinä toimitetut kuormat. Ensimmäisessä tapauksessa tuloksia voidaan käyttää ostohintojen, haketus- ja kuljetusmaksujen yms. määrittämiseen. Toisessa tapauksessa tuloksia voidaan käyttää yhtiön omista metsistä tapahtuvissa haketoimituksissa ja hakkeen kuljetuksen ja laadun valvonnassa. Lasketut otoskoot kutakin tarkoitusta varten on esitetty kuvissa 3—6 ja 8—11. Hakkeen irtotilavuuden ja kuivamassan välisen muuntokertoimen määrittämiseen voidaan käyttää samoja otoskokoja kuin kuivamassan määrittämiseen.

Kuormaotannon käytön tarkoituksenmukaisuuteen liittyy kysymys otoksen minimikoosta, kun mittauseriä on pieni. Metsähakeella tämä on tavallinen ongelma, sillä yhdeltä leimikolta kertyy harvoin yli 20 hakekuormaa ja haketoimitukset tietynä aikavälinä ovat pieniä, ainakin pyöreään puutavaraan verrattuna. Pienimmät peruspopulaatiot, joilla kuormaotantaa kannattaa käyttää, arvioitiin seuraaviksi eri mittauserätilanteis-

	Leimikon mukainen otanta Kuormien vähimmäismäärä, kpl	Toimitusajan mukainen otanta
Pelkkä kosteuden mittaus, tarkkuusvaatimus $\pm 5\%$	5	10
Kosteuden mittaus kuivamassan määritystä varten, tarkkuusvaatimus $\pm 2\%$		
— metsäteollisuuden hake	10	30
— polttohake	30	30
Kuivamassan mittaus, tarkkuusvaatimus $\pm 3\%$		
— metsäteollisuuden hake	10	20
— polttohake	5—50	10—50

Käytännössä leimikon puitteissa tapahtuva kuormaotanta ei ole tarkoituksellisesti muilla polttohakelajeilla, kuin tuoreella hakkuutähdehakeella kun tavoitteena on kuivamassan määritys ja sen edellyttämä kosteuden mittaus. Eniten hyötyä kuormaotannan käytöstä olisi lämpölaitoksille, jotka joutuvat ostamaan ulkopuolisia vaakapalveluja

ja joilla kosteusnäytteiden käsittely on hankalaa järjestää. Valitettavasti juuri näillä hakkeen käyttäjillä oli suurimmat peruspulaatioiden vähimmäiskoot.

Yksittäisen hakekuorman kosteus voidaan määrittää luotettavimmin ja pienimmällä näytteellä ottamalla tarvittavat näyteyksiköt eri osista hakekasaa kuorman purkamisen jälkeen (taulukot 5 ja 6). Teoreettisen laskelman perusteella saatiin hakekasasta otettavien näyteyksiköiden ($\approx 1 \text{ dm}^3$) lukumääräksi eri hakelajeilla ja mittauksen tarkkuusvaatimuksilla:

	Tarkkuusvaatimus, %	
	2	5
	Näyteyksiköitä, kpl	
Tuore kokopuu- ja rankahake	3—9	1—2
Ylivuotinen kokopuu- ja rankahake ja hakkuutähdehake	35—90	6—15

KIRJALLISUUS

- Bentley, O.W. 1960. Setting chip standards. Paper Mill News 83:33.
- Bergman, Ö. 1973. Lagring av bränsleflis. Summary: Storage of fuel chips. Skogshögskolan, institutionen för virkeslära. Rapport R85. 72 s.
- 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. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 143. 50 s.
- Dobie, J. & Wright, D. 1972. Conversion factors for the forest products industry in Western Canada. Canadian Forest Service. Western Forest Products Laboratory. Internal Report VP-x-97. 60 s.
- Gibson, E. & Rusten, D. 1964. Determination of the moisture content of pulp chips by an instrumental method. Norsk Skogind. 18(10): 351-356.
- Gislerud, O. 1974. Heltreutnyttelse. IV. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjork og or. Summary: Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch and alder. Norsk Institutt for Skogforskning. Skogteknologisk avdelning. Rapport 6. 46 s.
- Hakkila, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(4). 82 s.
- 1963. Koivujen kuivuminen rasissa ja niistä tehtyjen pinotavarapölkkyjen vettyminen uitoissa. Summary: The seasoning of leaf-felled birches and the waterlogging of cordwood of leaf-felled birches in floating. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 57(3). 32 s.
- 1972. Sahanhakkeen kuoripitoisuuden määrittämisestä. Haketutkimustoimikunta. Moniste. 8 s.
- 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia Forestalia 342. 38 s.
- 1984. Metsähakkeen hankinta lämpölaitosten polttoaineeksi. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö. KTM, energiaosasto. SITRA. Tutkimusraportti 14. 24 s.
- Halinen, M., Majanne, Y., Nissi, I., Sauvala, K. & Uusvaara, O. 1985. Hakkeen kosteuden mittaaminen neutronisäteilyn avulla. Suomen Puutalous 3: 14-15.
- & Nissi, I. 1984. Hakkeen kosteuden mittaaminen neutronisäteilyn avulla. Metsätehon katsaus 7:2.
- Heiskanen, V. 1963. Kosteuden vaihtelut kenttähakkuureilla lastutetuissa hakekuormissa. Summary: Variations of moisture in loads of chips chipped with portable chipping machines. Pienpuualan Toimikunnan Tiedotus 80. 4 s.
- Hugnes, F. 1977. New method measures moisture and true dry mass. Canadian Forest Industries 97(2): 22-23.
- Hyytiäinen, J. 1984. Hakekuorman kosteuden ja kiintotilavuuden mittaus. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 64 s.
- James, W.L. 1975. Electric moisture meters for wood. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. General Technical report. Forest Products Laboratory (FPL), Madison FPL-6. 27 s.
- Jäppinen, P. 1983. Kosteusmittarit katsauksessa. Elektriikkauutiset 19: 28-30.
- Kajanne, P. 1957. A rapid method for moisture deter-

- mination. Paperi ja Puu 39(8): 391-398.
- & Hollming, A. 1958. On moisture determination in wood chips using gamma ray scattering. Paperi ja Puu 40(4a): 153-157. (Seloste).
- Kanninen, K., Uusvaara, O. & Valonen, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole tree raw material. *Folia Forestalia* 403. 53 s.
- Keller, M. & Lauer, B. 1970. Rapid airdrying for determining moisture in chips. *Tappi* 53(2): 300-301.
- Kollman, F. & Höckele, G. 1962. Kritischer Vergleich einiger Bestimmungsverfahren der Holzfeuchtigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff 20(12): 461-473.
- Kärkkäinen, M. 1977. Kokopuuhakkeen tiheyden mittaaminen. Summary: Measurement of basic density of total tree chips. *Silva Fennica* 10(3): 198-211.
- Laine, R. & Haapasalo, P. 1981. Hakkeen luokitus ja energiasisällön seuranta. Loppuraportti. Valtion polttoainokeskus ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Kotimaisten polttoaineiden laboratorio. Jyväskylä. 47 s.
- Laitinen, A. & Mäkelä, P. 1983. Heinän kosteuden määrittäminen Wile 35 -pikakosteusmittarilla. Summary: Determination of the moisture content of hay by using the Wile 35 -rapid moisture meter. *Teho* 1: 27-29.
- Leinonen, E. 1972. Puutavaran mittaus kuorma- ja otantamenetelmillä. Summary: Measurement of timber by the load and sampling methods. *Folia Forestalia* 144. 38 s.
- Liedes, M. & Manninen, P. 1975. Otantamenetelmät. 255 s. Gaudeamus. Helsinki.
- Loos, W. 1965. Determining moisture content and density of wood by nuclear radiation techniques. *Forest Products Journal* 15(3): 102—106.
- Lundström, J. 1970. On-line chip moisture measurements. *Tappi* 53(5): 857—861.
- Lönner, G. 1966. Stickprovmeter. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm.Handledning nr. 1.
- Magnusson, H., Eriksson, L. & Andersson, L.-O. 1972. Measurement of moisture content in wood and pulp samples using the NMR-technique. *Svensk Papperstidning* 75(15): 619—622.
- & Konradsson, T. 1971. Synpunkter på flisfuktmätning. *Svensk Papperstidning* 74(24): 835—843.
- Marshall, P. 1966. A simple moisture content indicator. *Wood Science* 18(17): 58—62.
- Metsola, E. 1983. Erilaisilla hakkureilla valmistetun metsähakkeen ominaisuudet. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 72 s.
- Metsurimittausohje hakkuun työmittauskäyttöön. 1986. Metsä- ja uuttoalan työehtosopijapuolet. 28.4. Moniste. 11 s.
- Mäkelä, M. 1977. Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen. Summary: Changes in the quality of logging residues. *Folia Forestalia* 309. 16 s.
- 1983. Metsätähteen mittausmenetelmät. Metsätähtemoniste 30.9. 10 s.
- Nanassy, A.J. 1973. Use of wide line NMR for measurement of moisture content in wood. *Wood Science* 5(3): 187-193.
- Nieminen, M. & Ranta, J. 1982. Kotimaisten polttoainneiden ominaisuudet, osa 2. Näytteiden esikäsittely- ja testausohjeet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 164. 40 s. Espoo.
- Nisula, P. 1960. Paino pinotavaran ja hakkeen mittana. Summary: Weight as a standard of piled timber and chips. Pienpuualan toimikunnan julkaisuja 114. 13 s.
- 1961. Polttihakkeen kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen painomittausta käytettäessä. Summary: Determination of the dry matter content of fuel chips when using measurement by the weight. Pienpuualan toimikunnan julkaisuja 131. 49 s.
- Nya produkter för fukthaltsmätning. 1984. Skogen 1:26.
- Nylinder, M. 1982. Säkverksflis, del 3. Mätning och värdering. Summary: Saw mill chips, part 3. Measurement and evaluation. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 130. 50 s.
- Nylinder, P. 1958. Fastmasseprocenter hos boardved, ribb och bakar samt flis. Skogshögskolan, institutitionen för virkeslära. Uppsatser 16. 50 s.
- 1972. Measuring of wood chips. Skogshögskolan, institutitionen för virkeslära. Rapporter 79. 13 s.
- Okstad, T. 1972a. Methods of scaling wood chips. FAO/Norad symposion on production, handling and transport of wood chips. FAO: TWC/72/30: 1—4.
- 1972b. Omsetning av celluloseflis etter vekt. *Norsk Skogbruk* 5: 133-134.
- Olofsson, L. 1975. Värmevärdet för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Skogshögskolan, institutitionen för skogsteknik. Rapporter och uppsatser 90. 47 s.
- Palka, L. & Hejjas, J. 1976. Calibration of moisture meter readings for Douglasfir plywood. *Forest Product Journal* 26(12): 47—48.
- Pekkala, O. 1972. Pohjois- ja Keski-Suomen sahanhake sellun raaka-aineena. Haketutkimustoimikunta. Moniste. 6 s.
- & Uusvaara, O. 1980. Kuitupuun metsävarastoinnin vaikutus massan saantoon ja laatuun. Summary: Storage of pulpwood in the forest and its effect on the yield and quality of pulp. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 96(4). 24 s.
- Pesez, G.A. 1957. International Paper Co. volume method for sawmill waste and chips. *Tappi* 40(12): 2214—2216.
- Puutavaran mittaussääntö 17.11.1972/753. Report of a seminar on moisture content determination of wood. 1970. Timberlab Papers 24.
- Richesson, M., Clapp, L. & Miller, R. 1967. Continuous measurement of chip moisture. *Tappi* 50(6): 81A—86A.
- Rijsdijk, J. von. 1969. Die Genauigkeit von Holzfeuchtigkeitmessungen mit elektrischen Feuchtigkeitsmessgeräten. Holz als Roh- und Werkstoff 27(1): 2—23.
- Sandman, E. 1984. P.T. -kosteusmittarin testaus. Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta. Energialaboratoriotyöryhmä. Tutkimusraportti 23.2. 10 s.
- Saukkonen, M. 1972. Sahanhakkeen ja paperipuuhakkeen sekakeitto. Haketutkimustoimikunta. Moniste. 5 s.
- Shepard, H.M. 1955. Using the BDU as a unit of chip measurement. American Pulpwood Association. Release 247: 40—43.
- Simola, P. & Mäkelä, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. *Folia Forestalia* 273. 18 s.
- Skaar, C. 1972. Water in Wood. Syracuse University Press. New York. 281 s.
- Thörnqvist, T. 1979. Björkens fukthaltsändring och substansförlust vid lagring. En litteraturstudie. Sveriges lantbruksuniversitet, institutitionen för virkeslära. Uppsatser 90. 23 s.
- 1982. Lagring av ung salix spp. Summary: Storing of saplings of salix spp. Sveriges lantbruksuniversitet, institutitionen för virkeslära. Rapport 133. 62 s.

- 1983a. Lagring av sönderdelade hyggesrester. Summary: Storing of disintegrated logging residuals. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 137. 86 s.
- 1983b. Bränsleffisens förändring under ett års lagring. Summary: Fuel chips change during one year of storage. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 148. 65 s.
- Uusvaara, O. 1969. Sahanhakkeen tiheys ja paino. Summary: On density and weight of sawmill chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(3). 44 s.
- 1971. Vaneritehtaan jätepuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Summary: On the properties of chips prepared from plywood plant waste. Folia Forestalia 107. 17 s.
- 1972a. Sahanhakkeen ja paperipuuhakkeen ominaisuuksista. Moniste. 14 s.
- 1972b. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of sawmill chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75(4). 55 s.
- 1974. Teollisuudessa käytettävän sahanpurun ominaisuudet. Summary: Properties of sawdust utilized in industry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 83(1). 43 s.
- 1978. Teollisuushakkeen ja purun painomittaus. Summary: Estimation of industrial chip and sawdust weight. Folia Forestalia 341. 18 s.
- 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen hakketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvien toimenpitein. Abstract: Decreasing the moisture content of chip wood before chipping, harvesting and storage measures. Folia Forestalia 599. 31 s.
- 1986. Sahanhakkeen painomittaus. Abstract: Weight scaling of sawmill chips. Folia Forestalia 668. 15 s.
- & Heiskanen, V. 1975. Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadunmääritys Suomessa. Summary: Preparation, handling, measurement and quality of sawmill chips in Finland. Folia Forestalia 234. 28 s.
- & Verkasalo, E. 1987. Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Summary: Solid content and other technical properties of forest chips. Folia Forestalia 683. 53 s.
- Verkasalo, E. 1987. Polttihakkeen painomittauskokeilu akselpainovaa'alla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosastolla.
- Warren, B. 1972. Assessment of quality and quantity of woodchip shipments. Appita 26(3): 209-210.

Total of 78 references

SUMMARY

Measurement of moisture content and dry weight of forest chips by load sampling methods

Measurement by loose volume at the delivery point is still the most common method for measurement of forest chips in Finland. The method is accurate and practical enough, if the variation in the properties of the chips delivered is not very great. However, chips are rarely so uniform. That is why dry weight determination by weight scaling and moisture content sampling has often been recommended. Still, weight scaling of forest chips has not become a generally accepted practise. The main reasons for this have been both the lack and the high purchase price of appropriate weighing equipment, difficulties in the conversion of dry weight units to the traditionally applied solid volume units, and doubts about the reliability of the results of the necessary moisture content determination. In addition, handling of moisture content samples is rather laborious and time-consuming.

An opportunity to facilitate weight scaling of forest chips is to use load sampling methods for moisture content and/or dry weight determination. The methods require measurement of the loose volume of each chip load. This study deals with these questions. Techniques and equipment are studied through literature. The main aims of the empirical part of the study are to determine the variation of moisture content and dry weight between chip loads from various cutting sites, between chip loads from the same cutting site, and within one chip load. These values are used to calculate the sample sizes

needed for determination of the moisture content and the dry weight of different kinds of chips for various degrees of accuracy required. Moisture content sampling techniques from one load are also studied (number of sample units needed, sampling point).

Techniques for determination of moisture content in forest chips have been a problem, as the only reliable accepted and standardized method, oven drying, is slow and laborious. In addition, it requires manual moisture content sampling from the chip load, which causes uncertainty as regards the representativeness of the sample. Suitable meters with which to measure the moisture directly from the chip load and write out the results automatically have not been available. There are several types of meters for control of the pulping process and quality of pulp, paper, sawn goods, fuel peat, hay and wheats. Unfortunately there are many drawbacks to their use for measurement of chips. The major errors are the result of variations in moisture content, temperature, packing density, and basic density of chips as well as the degree — to which the chips are frozen. In addition, the use of the most accurate meters requires refining the chip sample, which probably reduces the moisture content. Knowledge and experiences of various meters are still imperfect, and further studies are needed.

The empirical investigation material was the same as used in the study concerning solid content and technical

properties of forest chips (Uusvaara and Verkasalo 1987). The material comprised 879 chip loads from 134 cutting sites for moisture content studies and 634 chip loads from 84 cutting sites for dry weight studies. The material for studies of moisture content variation within one chip load comprised 45 chip loads (20 moisture content samples for each load).

The variation in the moisture content of chips was two times greater between the cutting sites than within them (coefficients of variation 11,8—20,8 % and 3,8—15,3 %, Tables 1 and 2). The variation was greatest with slash chips and smallest with whole tree chips of hardwoods. The variation was greater in winter than in summer, and in brown than in green chips. Within one chip load the variation was 40—60 % smaller than between the chip loads (the coefficient of variation 2,8—12,7 %, Table 3). The variation was slightly smaller in the chip pile after unloading than in the chip load. This was due to the fact that chips were mixed during unloading. The mixing was more efficient when the chip load was unloaded by tip-up (especially by tip-up aside) instead of scraper conveyor (Table 4). In addition, there were systematic differences between moisture content results of one sample and the mean of 20 samples for each load. In general, the moisture content of the chip load was underestimated by one sample, especially for green chips with a high moisture content.

The variation in the dry weight of the chips depends mostly on chipper, kind of chips, degree of dryness of chipwood and chipping season — and also on moisture content of chips, which refers to the difference between green and brown chips. In general the variation was somewhat greater between cutting sites than within them (coefficients of variation 2,2—15,1 % and 2,5—19,6 %, Tables 7 and 8). However, as a rule the differences were not statistically significant.

The suitability of the load sampling methods for the measurement of forest chips, or any assortment of timber, depends on the variation in the property to be measured and on the required accuracy (which determine the sample size), feasibility of sampling method, and costs. In this study, the required accuracies for moisture content determination were ± 2 % and ± 5 %. The first one results in an accuracy of 3 % in dry weight determination and the second one is sufficient for moisture content determination of fuel chips for heating plants. The required accuracies for dry weight determination were ± 3 % (compare with saw mill chips, Uusvaara 1986) and ± 5 %.

The load sampling methods can be used to determine the moisture content and dry weight for a lot consisting of either loads from certain cutting site (purchase lot of chips) or loads delivered during certain period. In the first case the results can be used to determine purchase prices, chipping and transport fees, etc. In the second case the results can be used for chip deliveries from a company's own forests and for transport and quality control of chips. The calculated sample sizes for each

purpose are presented in figures 3—6 and 8—11. The same sample sizes can be used to determine the dry weight and the conversion factor between loose volume and dry weight of chips.

The question about the minimum sample size, when the measurement lot is small, is raised in connection with the feasibility of using the load sampling methods. This is a common problem with forest chips, for the number of loads transported from one cutting site rarely exceeds 20, and chip deliveries during certain period are not many, at least compared with roundwood. The smallest populations, for which it is profitable to use load sampling methods, were judged as follows:

	Sampling within a cutting site	Sampling within a period
Measurement of only moisture content, required accuracy ± 5 %	5	10
Measurement of moisture content for dry weight determination, required accuracy ± 2 %		
— chips for forest industry	10	30
— chips for fuel	30	30
Measurement of dry weight, required accuracy ± 3 %		
— chips for forest industry	10	20
— chips for fuel	5—50	10—50

In practice — as regards chips for fuel — sampling within a cutting site is profitable only for green slash chips or, when determination of moisture content is all that is required. Heating plants that have to buy weigh service from outside and find the handling of moisture content sample laborious could utilize the load sampling methods to best advantage. Unfortunately, it is just these plants that have the smallest populations.

The moisture content of one chip load can be determined most reliably and with the smallest sample size by taking the sample units needed of various parts of the chip pile after unloading (Tables 5 and 6). According to theoretical calculation, the number of sample units (one liter each) would be as follows:

	Required accuracy, %	
	2	5
	Number of sample units	
Green whole tree and bole chips	3—9	1—2
Brown whole tree and bole chips and slash chips	35—90	6—15

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

- 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: Erilaisten 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 mittauksessa käytettävistä yksikkötilavuusluvuista 14. päivänä kesäkuuta 1985 annetun päätöksen muuttamisesta.
Skogsforskningsinstitutets beslut om förändring av beslutet från den 14 juni 1985 om de enhetsvolymtal, 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 turvemailla 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 latvaläpimitaan 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.
- No 688 Juntunen, Marja-Liisa (red.): Arbets säkerhet och belastning vid självverksamma skogsägares drivningsarbete — NSR slutrapport.
Work safety and strain of self-employed forest owners during logging.
Työturvallisuus ja kuormittuminen omatoimisten metsänomistajien puunkorjuussa.
- No 689 Nöjd, Pekka, Mälkönen, Eino & Kukkola, Mikko: Lehtikuusen lannoituskokeiden tuloksia.
Growth response of *Larix* to fertilization.
- No 690 Metsätilastollinen vuosikirja 1986.
Yearbook of Forest Statistics 1986.
- No 691 Ritari, Aulis: Lumipeitteen sulamisen riippuvuus eräistä metsikkö- ja kasvupaikkatunnuksista Kivalon tutkimusalueella.
Ablation of late snowcover in relation to some stand and site characteristics in Kivalo, northern Finland.
- No 692 Sirén, Matti, Ala-Ilomäki, Jari & Högnäs, Tore: Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus.
Mobility of forwarding vehicles used in thinnings.
- No 693 Löfström, Irja (toim.): Taajamametsien hoito.
Urban forestry.
- No 694 Verkasalo, Erkki: Metsähakkeen kosteuden ja kuivamassan mittaus kuormaotantamenetelmillä.
Measurement of moisture content and dry weight of forest chips by load sampling methods.
- No 695 Poteri, Marja, Heikkilä, Risto & Yuan-Yi, Liu: Peltoluteen aiheuttaman kasvuhäiriön kehittyminen yksivuotiailla männyntaimilla.
Development of the growth disturbance caused by *Lygus rugulipennis* in one-year-old pine seedlings.
- No 696 Saarenmaa, Hannu: Tuhohyönteisten ja sinistymän esiintyminen myrskyn kaatamissa puissa Lapissa 1983—86.
Insect attack and blue stain in windthrown trees in Lapland 1983—86.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communications Institutet Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.
Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

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

ISBN 951-40-0786-7
ISSN 0015-5543