

FOLIA FORESTALIA 683

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1987

OLLI UUSVAARA &
ERKKI VERKASALO

METSÄHAKKEEN TIIVIYS JA
MUITA TEKNISIÄ OMINAISUUKSIA

SOLID CONTENT AND OTHER
TECHNICAL PROPERTIES OF
FOREST CHIPS



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

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

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

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

FOLIA FORESTALIA 683

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1987

Olli Uusvaara & Erkki Verkasalo

METSÄHAKKEEN TIIVIYS JA MUITA TEKNISIÄ OMINAISUUKSIA

Solid content and other technical properties of forest chips

Approved on 27.3.1987

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	4
21. Tutkimusmenetelmä	4
22. Tutkimusaineisto	6
3. TULOKSET	8
31. Metsähakkeen tiiviys	8
311. Tiiviyteen vaikuttavat tekijät	8
312. Tiiviys hakkureittain ja hakelajeittain	12
32. Metsähakkeen muut tekniset ominaisuudet	13
321. Tuore- ja kuivamassa	13
322. Kosteus	19
323. Palakoko	21
324. Tehollinen lämpöarvo	23
4. TULOSTEN TARKASTELU	26
41. Metsähakkeen tiiviys ja sen soveltuvuus tilavuusmittauksen perusteeksi	26
42. Metsähakkeen muut tekniset ominaisuudet	31
5. YHTEENVETO	36
KIRJALLISUUS — REFERENCES	39
SUMMARY	40
Liitteet	42

UUSVAARA, O. & VERKASALO, E. 1987. Metsähakkeen tiiviyys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Summary: Solid content and other technical properties of forest chips. *Folia Forestalia* 683. 53 p.

Tutkimuksessa tarkastellaan metsähakkeen tiivyyteen ($m^3/i-m^3$) vaikuttavia tekijöitä ja esitetään käytännön suositukset metsähakkeen irtotilavuusmittaukseen soveltuvista tiiviyysluvuista. Lisäksi tutkitaan muita tärkeimpiä metsähakkeen mittaus- ja käyttötekniisiä ominaisuuksia (tuore- ja kuivamassa, kosteus, palakoko, tehollinen lämpöarvo).

Tutkimusaineisto käsitti 879 metsähakekuormaa, jotka punnittiin ja joiden irtotilavuus mitattiin toimituspaikalla. Joka kuormasta otettiin kosteusnäyte. Joistakin kuormista otettiin kosteuden vaihtelu-, palakoko- ja biomassan koostumusnäytteitä. Kuormien tiivyydet laskettiin jakamalla mitatut kuivamassat, $kg/i-m^3$, ko. hakkeen laskennallisella kuiva-tuoretiheydellä. Tämä laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen aiemmissa tutkimuksissa saatujen tulosten perusteella.

Hakkuri ja hakelaji (puu- ja puutavaralaji) selittivät 49,1 % hakkeen tiivyyden vaihtelusta. Muut tekijät (hakepuun kuivatusaika, haketusvuodenaika, hakepuun järeys, kuljetuskalusto) paransivat selityksastetta 5,4 %-yksikköä. Lisäksi hakepuun kosteus osoittautui tiivyyteen vaikuttavaksi tekijäksi.

Tulosten perusteella laskettiin käytäntöön suositeltavat tiiviyysluvut hakkurityypeittäin (toimintaperiaate, hakkeen kuormausmenetelmä) ja hakelajeittain eri vuodenaikoina. Tiiviyyslukujen taso oli ennakoitua korkeampi ja em. luokkien välinen vaihtelu oli ennakoituaakin suurempi (0,36—0,56).

Hakkeen tuore- ja kuivamassa riippuivat samoista tekijöistä kuin tiiviyys. Hakelajin vaikutus johtui sekä puulajin kuiva-tuoretiheydestä että tiivyydestä. Hakkeen kosteus riippui hakelajista, hakepuun käsittely- ja varastointiajasta ja -tavasta sekä haketusvuodenajasta. Hakkeen palakoko riippui ennen kaikkea hakkurin toimintaperiaatteesta, hakelajista ja haketusvuodenajasta. Hakkeen tehollinen lämpöarvo riippui samoista tekijöistä kuin kuivamassa.

Factors affecting solid content of forest chips (m^3 solid/ m^3 loose) are analyzed and recommendations of the solid content values suitable for measurement of the loose volume of forest chips are presented for practical application. In addition, the most important technical properties of forest chips (green and dry weight, moisture content, particle size, effective fuel value) are studied.

The material comprised 879 loads of forest chips, which were weight scaled and whose loose volumes were measured at the delivery point. A moisture content sample was taken from every load. Samples for the determination of moisture content variation, particle size and composition of biomass were taken from some loads. The solid content for each chip load was calculated by dividing the dry weight, kg/m^3 loose by the calculated basic density of the chips, for which the basis was found in the earlier studies of The Finnish Forest Research Institute.

The chipper and kind of chips (tree species and assortment) explained 49.1 % of the variation of the solid content. Other factors (drying time of chipwood, chipping season, size of chipwood, transport vehicle) improved the explanation degree 5.4 % units. In addition, the moisture content of chipwood was clearly a factor affecting the solid content.

The solid content values suitable for practical application were calculated by type of chipper (conversion principle, loading method) and kind of chips in various seasons. The level of the solid content values was unexpectedly high and the variation between the above mentioned groups was unexpectedly great (0.36—0.56).

Green weight and dry weight of the chips depended on the same factors as bulk density. The influence of the kind of the chips was due to the basic density of the tree species and the solid content. Moisture content of the chips depended on the kind of the chips, the time and the method of handling and storing the chipwood and the chipping season. Particle size of the chips depended on above all the conversion principle of the chipper, the kind of the chips and the chipping season. Effective fuel value of the chips depended on the same factors as dry weight.

Keywords: forest chips, timber scaling, wood energy, pulp industry

ODC 861.0 + 363.7

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-0775-1
ISSN 0015-5543
Helsinki 1987. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Metsähakkeella ymmärretään etupäässä markkinakelvottomasta pienpuusta tavallisesti oksineen ja latvuksineen hakettua tai avohakkuualojen metsätähteestä valmistettua haketta. Mukana saattaa olla myös karsitusta rangasta tai kuitupuusta tehtyä haketta. Metsähaketta käytetään varsinaisen energia-tuotannon ohella jossain määrin myös sellu- ja levyteollisuuden raaka-aineena. Metsähakkeen laatuvaatimukset esimerkiksi puulajin ja hakkeen koostumuksen suhteen ovat erilaiset eri käyttömuodoissa.

Metsähakkeen kokonaiskäyttö polttoaineeksi ja metsäteollisuuden raaka-aineeksi oli vuonna 1982 yhteensä 766 000 m³, josta 67 % käytettiin lämpölaitosten ja maatilojen polttoaineena ja loput tasan sulfaattimassa- ja levyteollisuuden raaka-aineena ja toisaalta metsäteollisuuden polttoaineena. Polttohakkeen saatavissa olevaksi, korjuukelpoiseksi määräksi lasketaan 15,3 milj. m³/a, joka on noin 20-kertainen nykykäyttöön verrattuna (Hakkila 1984). Öljyn hinnan laskusta ja polttoainekäyttöön soveltuvan pienpuuston määrän lisääntymisestä johtuen metsähakkeen tuotantopotentiaali saattaa edelleen kohota lähiaikoina.

Metsähakkeen käyttöarvoon eri tarkoituksissa vaikuttavat puuston rakenne ja laatu, korjuukoneet ja tekniikka, hakepuun käsittely ja kuljetus sekä hankintaketjun eri vaiheiden aikana vallitsevat sääolot. Metsähakkeen energiakäytön kannalta tärkeä laatuominaisuus on kosteus, sillä lämpölaitoksen energiahöyry kasvaa irtotilavuusyksikön sisältämän kuivan massan kasvaessa ja kosteuden alentuessa. Puuta kuiduttavan teollisuuden prosesseissa on tuore puu sen sijaan edullisempaa. Kosteus vaihtelee riippuen metsikön puuston ominaisuuksista ja hakettavan puuston käsittelystä, erityisesti kaatoajan kohdasta ja puuston kuivattamisesta rasissa, kourakasoissa ja metsävarastoissa. Tuoreen puun kosteus, joka vaihtelee yleensä välillä 45—55 %, saadaan yleensä normaalein kuivatustoimenpitein laskemaan 40 %:n vaiheille (Hakkila 1984), mutta sääoloiltaan edullisina kesinä koivulla 30—35 %:iin ja havupuilla 35—40 %:iin jo kuukauden kuivatuksella (Hakkila 1962). Peittämällä talven ku-

luessa käytettävät pinot syksyllä voidaan hakepuun kosteutta sekä pienentää että tasoittaa kosteuden vaihtelua (Uusvaara 1984).

Hakepuun korjuu keskitetään teknisistä syistä kesäaikaan, jolloin kuivuminen tapahtuu tehokkaimmin. Rasipuut ajetaan tien varteen ennen syksyä mahdollisimman korkeisiin kasoihin, jolloin saavutettu kuivuu- taso säilyy parhaiten. Hakepuu haketetaan yleensä välivarastolla hakkeen käyttökohteseen kuljettavaan ajoneuvoon. Haketus voidaan suorittaa myös hakkuupalstan ajouralla. Valmistetun hakkeen laatu riippuu paitsi raaka-aineesta, myös hakkurin rakenteesta ja säädöistä (laikkahakkurit, rumpuhakkurit, murskaimet) sekä hakkeen kuormaustavasta (puhallus ajoneuvoon, kippaus, täyttö hihnakuuljettimella). Laatua ilmaisevia ominaisuuksia ovat hakkeen palakoko (pituus- ja paksuusjakauma) sekä hienomurskeen ja lehdistä, neulasista ja kuoresta muodostuvan viheraineen määrä. Hakkurityyppi vaikuttaa palakokojakaumaan ja osittain sen kautta hakkeen tiiviyteen (Metsola 1983, Pellikka 1983), joka on paitsi laatutunnus myös hakemäärää ilmaiseva tekijä.

Hakkeen tiivydellä ymmärretään irtotilavuusyksikön sisältämää puumäärää kiintotilavuutena ilmaistuna (m³/i-m³). Hake mitataan ja hinnoitellaan tavallisesti irtomittoina, mutta tiivyyttä tai kiintotilavuusprosenttia tarvitaan muuntamaan irtomitat kiintomitoiksi esimerkiksi hakkuu-, kuljetus- ja haketustakojen määrittämiseksi. Tiiviysluku on yleisesti käytetty 0,40, joka on aivan liian karkea ja yleensäkin liian pieniin aineistoihin perustuva keskiarvoluku. Tiivyyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä ovat tutkineet esimerkiksi Hakkila ym. (1975), Hakkila ym. (1977), Kanninen ym. (1979), Metsola (1983) ja Uusvaara (1984).

Hake tuodaan lämpölaitoksiin yleensä lyhyiltä kuljetusmatkoilta (Kalaja 1984). Kuljetusmatkasta ja toimittajasta riippuen kuljetuksissa käytetään perävaunullisia (33 %) tai perävaunuttomia (26 %) kuorma-autoja tai traktoria (41 %) (Hakkila 1984). Kuljetuskaluston rakenne vaikuttaa yhtenä osatekijänä hakkeen kuljetuksen aikana tapahtuvaan painumaan, joka lisää kuorman tiivyyttä sekä

irtotilavuusyksikön massaa (Hakkila ym. 1975, Kanninen ym. 1979). Painuman aiheuttama tiivistyminen ja massan kohoaminen matkan pidentyessä on havaittavissa erityisesti, kun hakkeen toimittaja ja raaka-aineen laatu pysyvät muuttumattomina. Eri toimittajien välillä tiivistymisen riippuvuus kuljetusmatkasta on todettu vähäiseksi sekä kokopuuhakkeella että teollisuushakkeella (vrt. Nylinder 1982, Uusvaara 1986).

Metsähakkeen arvo etenkin polttoaineena mutta myös sellun raaka-aineena riippuu lähinnä irtotilavuusyksikön sisältämästä kuiva-ainemäärästä. Irtotilavuusyksikön massa vaikuttavat samat tekijät kuin tiiviyyteenkin. Tärkeä laatuun ja massaan vaikuttava tekijä on myös kuiva-tuoretiheys, jonka lukuarvo etenkin kokopuuhakkeella vaihtelee paljon puutavaralajista ja biomassan koostumuksesta riippuen. Kokopuuhakkeen puupitoisuus vaihtelee näet karkeasti rajoissa 75–85 % (Hakkila ym. 1978, Kanninen ym. 1979).

Hakkeen tiiviyn suurien vaihtelujen vuoksi olisi punnitusten ja kosteusmääritysten avulla saatavaan kuivamassaan perustuva mittausmenetelmä monessa suhteessa parempi kuin nykyinen irtotilavuusmittaus (esim. Verkasalo 1985). Massan mittauksessa tulevat oikeudenmukaisesti otetuksi huomioon hakkeen tiiviyn vaikuttavat tekijät.

Tämän tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on selvittää metsähakkeen tiiviyden ja lisäksi muita hakkeen mittaus- ja käyttötekniisiä ominaisuuksia sekä niiden riippuvuus hakkurista, puutavaralajista ja hakkeen käsittelystä. Käyttötekniiset ominaisuudet ovat tärkeysjärjestyksessä:

- kuiva- ja tuoremassa, kg/i-m³
- kosteus, % tuoremassasta
- tehollinen lämpöarvo, MJ/i-m³
- palakokojakauma, % tuoremassasta

Erityisesti hakkeen tiiviyden ja massa ovat hakkeen käytön kannalta tärkeitä laadun kuvaajia, joista on tähän asti ollut saatavissa vain rajoitetusti luotettavaa tutkimustietoa. Viime aikoina on markkinoille tullut myös useita uusia hakkurimerkkejä, joiden tuotaman hakkeen laatua ei ole lainkaan tutkittu. Tutkimuksen perusteella pyritään hake-määriä kuvaavien tunnusten osalta käytännön suosituksiin, jotka koskevat tärkeimpiä urakoitsijakäyttöön tarkoitettuja hakkureita ja hakelajeja. Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät siten kevyet "isännän linjan" hakkurit.

Tutkimuksen kirjoittajista Uusvaara suunnitteli tutkimuksen ja kirjoitti sen johdanto-osan. Verkasalo hoiti tutkimuksen aineiston keruun ja laskennan sekä kirjoitti käsikirjoituksen muut osat. Käsikirjoituksen lopullinen muokkaus tehtiin yhdessä.

Tutkimuksen aineiston keruun teki mahdolliseksi lukuisien metsähaketta hankkivien metsäteollisuusyritysten ja lämpölaitosten sekä haketuksista ja hakkeen kaukokuljetuksesta vastaavien urakoitsijoiden myönteinen suhtautuminen. Tutkimusaineiston keruussa ja käytännön järjestelyissä avustivat Hannu Kalaja, Tapio Järvinen, Petri Kiiski, Jukka Pietilä sekä Erkki ja Veijo Salo. Laboratoriotyöt hoitivat Kaarina Taivainen ja Petri Kiiski sekä tekstinkäsittelyn Maija Tuuri ja Heidi Koskinen. Kuvat piirsi Leena Muronranta ja käsikirjoituksen muokkasivat painokuntoon Pirkko Kinanen ja Raija Siekinen. Käsikirjoituksen lukivat professori Pentti Hakkila ja tohtori Pertti Harstela. Kaikille tutkimuksessa avustaneille yksityisille henkilöille ja organisaatioille haluamme esittää parhaat kiitoksemme.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

2.1. Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen kenttätyöt suoritettiin metsähakkeen käyttäjien normaalin puunhankinnan yhteydessä v. 1983–1985 sekä kesäoloissa (sulan puun aika) että talvioloissa (jäätynneen puun aika). Tutkittavaksi otettiin yhdeksän tuona aikana yleisesti käytössä ollutta hakkurimerkkiä. Valintaperusteena oli ennen kaikkea hakkurin yleisyys Suomessa. Toisaalta mukaan pyrittiin saamaan hakkureita, jotka eroavat selkeästi toisistaan

hakkeen laatuun vaikuttavien rakenteellisten ja toimintaperiaatteellisten ominaisuuksien puolesta (hakkurityyppi, terien lukumäärä, hakkeen kuormausmenetelmä, vetokone/käyttövoiman lähde). Lähtökohtana oli se, että hakkurikohtaiset tiiviydsluvut tulisi pystyä yleistämään muitakin samantyyppisiä hakkureita koskeviksi, koska uusia hakkurimerkkejä tulee koko ajan markkinoille. Tutkittujen hakkureiden tärkeimmät hakkeen laatuun vaikuttavat tekniset ominaisuudet sekä Suomessa kesällä 1984 käytössä olleiden koneiden lukumäärät ilmenevät liitteestä I.

TT 910 R -hakkurin työmenetelmä poikkesi normaalia sikäli, että hake jouduttiin puhaltamaan kuormauton lavalle sen takaseinän päältä kipin ollessa ylösnostettuna. Mainittakoon, että Bruks 1001 CT -hakkuri on kansainvälisesti varsin yleinen (käytössä ulkomailla n. 60 kpl, joista 30 kpl Ruotsissa). Algol-hakkureita ei ole ollut käytössä kesän 1984 jälkeen.

Kunkin hakkurin osalta keskityttiin tärkeimpiin niillä valmistettuihin hakelajeihin. Hakelajit määriteltiin pääpuulajin ja puutavaralajin sekä hakkuutähdehakeella lisäksi tuoreustasteen perusteella. Tutkimusaineistoon hyväksytyt hake-erät saivat sisältää korkeintaan 20 % sivupuulajia. Tästä tavoitteesta tingittiin eräiden yksittäisten hake-erien kohdalla jopa 65 %:iin asti aineiston täydentämistarpeen vuoksi. Käytännössä kaukallinen metsähake on hyvin harvoin puulajipuhdasta.

Aineiston keruussa oli perusyksikkönä hakekuorma, jolla tarkoitettiin yhtenä kokonaisuutena mitattavissa ja punnittavissa olluutta kuormaa tai sen osaa. Tavoitteeksi asetettiin noin 20 tällä tavalla määriteltyä hakekuormaa hakkuria ja hakelajia kohti kesä- ja talviaikana. Yhdeltä leimikolta tutkittiin mahdollisuuksien mukaan kaikki sieltä ajatut hakekuormat.

Aineistoa kuvaavat ja tulosten laskennassa tarvittavat leimikoiden puusto- ja korjuutiedot hankittiin ensisijaisesti pystymittaus- ja korjuusuunnitelmatiedoista. Muiden kuin metsäteollisuusyritysten hankkimien leimikoiden osalta jouduttiin yleensä turvautumaan hakepuupinojen arviointiin metsävarastoissa sekä hakkeen hankinnasta vastanneiden työnohjaajien haastatteluihin. Tärkeimmät leimikoiden puusto- ja korjuutiedot olivat:

- puulajisuhteet, % hakettavan puuston tilavuudesta
- hakettavan puuston rinnankorkeusläpimitta, cm
- hakkuutapa ja korjuumenetelmä
- kaatoaika
- hakepuun kuivatusaika rasissa, palstalla ja/tai väli-varastossa
- haketus aika
- kaukokuljetuskalusto ja -matka
- tien laatu

Hakekuormat punnittiin autovaa'alla mahdollisuuksien mukaan sekä kuormineen että tyhjinä. Kuormien kehystilavuudet mitattiin kuljetuksen jälkeen kuormatilojen nimellismittojen sekä 10 kohdasta mitattujen vaujauksen ja ylitysten keskiarvon perusteella.

Jokaisesta hakekuormasta otettiin kosteusnäytteitä hakevirrasta kuorman purkamisen yhteydessä tai, ellei tämä ollut mahdollista, puretusta hakekasasta. Kunkin kuorman kosteusnäyte koostui 20:stä noin 1 litran suuruisesta osanäytteestä, jotka homogenisoitiin astiassa tai säkissä. Näin saadusta hakkeesta otettiin lopullinen 1—2 l:n suuruinen kosteusnäyte. Koska erikokoiset hakkepalat ja talvella lumi näyttivät lajittuvan haketta säkissä sekoitettaessa, pidettiin eräissä tapauksissa parempana kerätä lopullinen kosteusnäyte suoraan hakekasan eri osista.

Hakkeen palakokojakauman mittausta varten useimmista hakekuormista otettiin 10—15 l:n näyte toimituspaikalla. Palakokonäytteiden analysointia varten seurattiin hakkurin terien kuntoa ja vaihtoa.

Yhdestä satunnaisesti valitusta kuormasta/leimikko otettiin 1—2 l:n suuruiset näytteet hakkeen biomassan koostumuksen mittausta ja hakkeen valokuvausta varten. Samasta kuormasta otettiin kosteusnäytesarja kuorman eri osien välisen kosteuden vaihtelun ja kosteusnäytteenottomenetelmän luotettavuuden selvittämiseksi Uusvaaran (1978) kuvailemalla menetelmällä.

Aineiston keruuvaiheista hakkeen toimituspaikalla vastasi ensisijaisesti Metsäntutkimuslaitoksen henkilökunta. TT 1000 TU ja TS sekä Pete 1000 -hakkureiden aineiston osalta töistä huolehtivat enimmäkseen hakeautojen kuljettajat ja lämpölaitosten työntekijät.

Kosteusnäytteet käsiteltiin osaksi Metsäntutkimuslaitoksen laboratoriossa Helsingissä, osaksi metsäteollisuusyritysten ja lämpölaitosten omissa laboratorioissa Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen poltto- ja voiteluainelaboratoriossa laadittujen ohjeiden mukaisesti (Nieminen ja Ranta 1982). Biomassan koostumusnäytteet käsiteltiin Metsäntutkimuslaitoksen laboratoriossa siten, että näytteestä eroteltiin käsin rungon ja ulko-oksien puuaine, rungon, ulko-oksien ja irtomainen kuori sekä viheraine. Näin erotellut jakeet kuivattiin em. ohjeiden mukaisesti, minkä jälkeen laskettiin jakeiden osuudet koko näytteen kuivamassasta.

Hakkeen palokokonäytteet seuloittiin Williams-menettelmällä (Saukkonen 1971) Metsäntutkimuslaitoksen Suomenjoen tutkimusasemalla. Kaikki näytteet seuloittiin reikäseuloilla hakkeen pituusjakauman määrittämiseksi. Normaalisti käytännössä poiketen käytettiin myös 45 mm:n seulalevyä, jolla hakkeesta toivottiin pystyttävän erottamaan polttohakkeen laadun kannalta kriittiset suurikokoiset oksat ja tikut. Seulonnessa keskitettiin kelvollisen hakkeen kokonaismäärän ja toisaalta äärijakeiden osuuden selvittämiseen. Yhdestä satunnaisesti valitusta reikä-seulontanäytteestä/leimikko mitattiin jakeittain hakkepalojen todellinen pituusjakauma ja verrattiin sitä seulonnan tulokseen. Tällöin eri seulalevyille kertyneistä hakkepalloista, oksista ja tikuista mitattiin käsin niiden todelliset suurimmat pituudet. Yhdelle satunnaisesti valitulle näytteelle/leimikko suoritettiin reikäseulonnan jälkeen myös rakeuselontaa hakkeen pakkausjakauman määrittämiseksi.

Metsähakkeen koeseulonnat suoritetaan nykyisin yleensä Wennberg-menettelmällä (Lönngberg 1986). Seulonnamenetelmien tulosten vertailun helpottamiseksi käsiteltiin osa näytteistä sekä Williams-reikäseulonalla että Wennberg-seulonalla. Kesäaineiston osalta samasta hakekuormasta otettiin erilliset Williams- ja Wennberg-palakokonäytteet. Talviaineiston osalta sama hakenäyte seuloittiin ensin Williams- ja sen jälkeen Wennberg-menettelmällä.

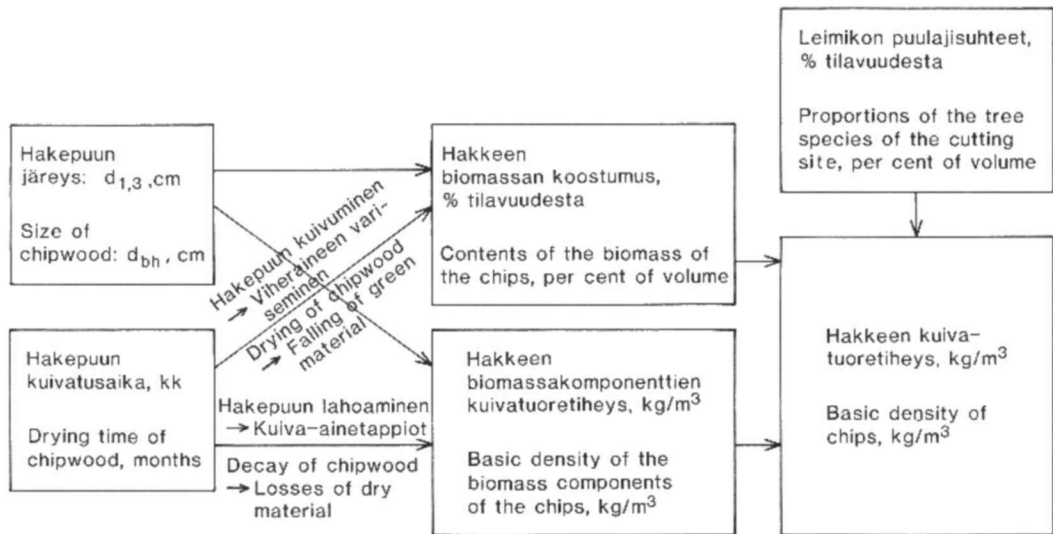
Tulokset laskettiin valmiilla BMDP-tietokoneohjelmistolla. Metsähakkeen tiiviysluvut laskettiin hakekuormittain jakamalla kuormakokoitais kuivamassat, kg/i-m³, leimikkokohtaisilla hakkeen kuiva-tuoretheysillä, kg/m³. Nämä laskettiin kuvan 1 mukaisella periaatteella.

Laskentaperusteita saatiin seuraavista julkaisuista: Hakkila 1966, 1967, 1970 ja 1971, Gislerud 1974, Kärkäinen 1976 ja 1980, Mäkelä 1977a, Simola 1977, Kanninen ym. 1979, Björklund ja Ferm 1982. Puuaineen lahoamisen aiheuttamien kuiva-ainetappioiden huomioon ottamiseksi tehtiin vähintään yhden kesän yli kuivuneen hakepuun rungon ja ulko-oksien puuaineen kuiva-tuoretheudesta seuraavat vähennykset Metsäntutkimuslaitoksen muissa tutkimuksissa kertyneiden aineistojen perusteella:

- männyllä ja kuusella 0 %
- koivulla ja haavalla 4 %
- lepällä 10 %

Käytetyt leimikkokohtaiset kuiva-tuoretheysluvut on mainittu liitteessä 2.

Metsähakkeen teholliset lämpöarvot, MJ/i-m³, laskettiin Hakkilan (1978) ja Olofssonin (1975) tulosten



Kuva 1. Periaate leimikkokohtaisen hakkeen kuiva-tuoretiheyden laskemiseksi.
Fig. 1. The principle for calculating the basic density of the chips from a certain cutting site.

perusteella laskemien eri puulajien ja puutavaralajien absoluuttisen kuivan puukilon tehollisten lämpöarvojen, MJ/kg, sekä tässä tutkimuksessa mitattujen kuivamassojen, kg/i-m³, perusteella. Hakelajien lämpöarvot laskettiin erikseen ylivuotisesta ja tuoreesta puusta kesä- ja talviaikana eri hakkureilla tehdyille hakkeelle.

22. Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto kerättiin kaikkiaan 17 metsähakkeen käyttöpiesteeseen hankituista hake-eristä. Näistä neljä käytti hakkeen sulfaattiselluloosan ja yksi lastulevyn raaka-aineeksi sekä 12 energiantuotantoon. Kesä-aineiston suuruus oli 397 hakekuormaa 52 leimikolta ja talviaineiston suuruus oli 482 hakekuormaa 72 leimikolta. Aineisto koostui hakkeen käyttötarkoituksen mukaan seuraavasti:

	Kesä	Talvi	Yht.
	Kuormia, kpl		
Hake metsäteollisuuden raaka-aineeksi			
Sulfaattiselluloosa	136	203	339
Lastulevy	28	—	28
Yhteensä	164	203	367
Hake energiantuotantoon			
Aluelämpökeskus, suurkiinteistö	153	180	333
Meijeri tms. tuotantolaitos	23	53	76
Metsäteollisuus	57	46	103
Yhteensä	233	279	512
Kaikki yhteensä	397	482	879

Taulukossa 1 on esitetty aineiston jakauma hakkureittain ja hakelajeittain. Laajimmat aineistot kerättiin TT 1500 LP ja TT 1000 TU -hakkureilta, joista ensimmäinen on nykyisin selvästi tärkein metsäteollisuuden ja jälkimmäinen lämpölaitosten metsähakkeen hankinnassa käytettävä hakkuri Suomessa. Myös TT 1000 TS -hakkurin aineisto oli varsin kattava. Muiden tutkittu-

jen hakkureiden aineisto koostui vain muutamista hakelajeista, joiden valmistukseen ko. hakkureita pääasiassa käytetään. Kansainvälisesti yleinen Bruks 1001 CT-hakkuri oli ainoastaan esittelykäytössä Suomessa kesäkuussa 1984, joten ko. hakkurin aineisto jäi suppeaksi.

Aineisto kerättiin eri puolilta maata tutkittujen hakkureiden toiminta-alueiden ja hakelajien alueellisten yleisyyserojen vuoksi. Koska aineiston hankintapaikat määrättyivät hakkureiden toiminta-alueiden mukaisesti, voitiin puuston maantieteelliset erityispiirteet (mm. oksaisuus ja puuaineen tiheys) ja hankintamenetelmien paikkakunta-kohtaiset erot (kuljetuskalusto ja -matka, kuormantekotapa) ottaa vain rajoitetusti huomioon. Taulukosta 2 ilmenee eri hakkureiden aineiston jakuma hakkeen käyttöpaikkakunnittain eri vuodenaikoina.

Aineistosta kertyi puolet harvennushakkuulcimikoista, neljäsosa avohakkuuleimikoista ja neljäsosa muista leimikoista (ylispuuhakkuut, taimikon perkaukset, hakkuualan raivaukset). Korjuumenetelmittain tarkasteltuna kokopuumenetelmällä korjattiin noin 65 % sekä osapu- ja tavaralajimenetelmällä kummallakin vajaa 15 % aineistosta. Hakkuutähteiden korjuun osuus oli alle 10 %. Korjuumenetelmällä tarkoitetaan tässä yhteydessä pelkästään hakepuun, ei koko leimikon korjuumenetelmää.

Aineisto jakautui hakepuun kaatoajan mukaan kuvan 2 mukaisesti. Varsinkin metsäteollisuuden hakepuusta valtaosa kaadettiin loppukesällä ja syksyllä. Polttohakepuu kaadettiin yleisesti rasiin touko-heinäkuussa.

Tyypillistä oli myös se, että metsäteollisuuden hake tehtiin huomattavasti tuoreemmasta puusta kuin polttohake kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee:

	Rasissa/ palstalla	Varastointiaika, kk Välivarastossa	Yhteensä
Hake polttoon	2,0	14,4	16,4
Hake metsäteollisuuden raaka-aineeksi	0,1	6,4	6,5
Keskimäärin	1,2	10,9	12,1

Taulukko 1. Tutkimusaineisto hakkureittain ja hakelajeittain.
Table 1. Investigation material by chipper and kind of chips.

Hakkuri Chipper	Kokopuu Whole tree					Hakelaji — Kind of chips Ranka Tree length			Hakkuutähde Slash		Yhteensä Total
	Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Leppä Alder	Vesakko Sprouts	Mänty Pine	Koivu Birch	Leppä Alder	Vihreä Green	Ruskea Brown	
	Kuormia, kpl — Number of loads										
TT 1000 TU	26	4	118	26	—	21	42 ²	19	—	—	256
TT 1000 TS	17	2	65	23	—	3	5	—	—	—	115
TT 1500 LP ja L	71	74 ¹	123 ¹	20	—	—	20 ³	—	—	—	308
TT 910 R	—	—	24	—	—	—	11	—	33	—	68
Erjo	—	—	—	27	—	—	—	—	—	—	27
Bruks 1001 CT	6	—	4	—	—	—	—	—	—	—	10
Algol	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19
Pete 1000	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
Lokomo MS9	—	—	—	—	10	—	—	—	6	30	46
Yhteensä Total	169	80	334	86	10	24	78	19	39	30	879

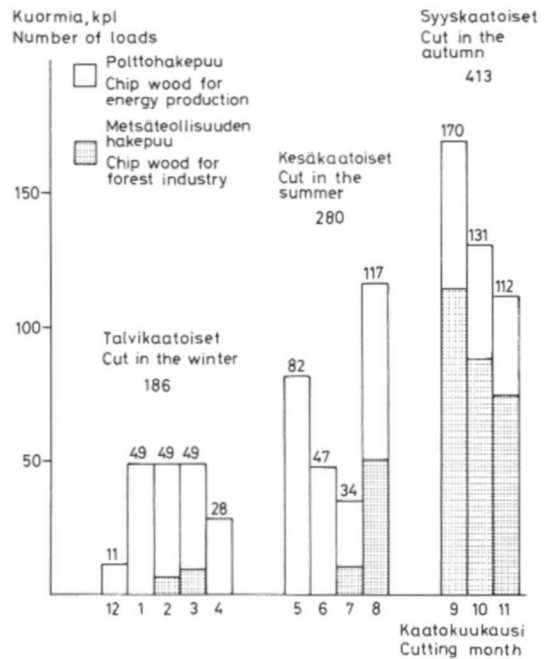
¹ Sisältää myös osapuuta
Contains also tree parts

² Enimmäkseen 2–3 m kuitupuuta
Mostly 2–3 m long pulpwood

³ 3 m kuitupuuta
3 m long pulpwood

Taulukko 2. Tutkimusaineisto hakkureittain ja paikkakunnittain eri vuodenaikoina.
Table 2. Investigation material by chipper and locality in various seasons.

Hakkuri Chipper	Paikkakunta Locality	Vuodenaika — Season			Yhteensä Total Kuormia, kpl/Leimikoita, kpl Number of loads/Number of cutting sites
		Kesä Summer	Talvi Winter	—	
TT 1000 TU	Oulu	52/6	66/10	118/16	
	Virrat	20/1	30/5	50/6	
	Liperi	23/7	26/6	49/13	
	Rovaniemi	20/2	10/3	39/5	
TT 1000 TS	Oulu	41/12	51/13	92/25	
	Savonlinna	—	23/5	23/5	
TT 1500 LP ja L	Kemi	95/9	130/14	225/23	
	Oulu	12/2	43/6	55/8	
	Puhos	28/2	—	28/2	
TT 910 R	Riihimäki	28/3	29/2	57/5	
	Hyvinkää	11/1	—	11/1	
Erjo	Mikkeli	—	27/4	27/4	
Bruks 1001 CT	Äänekoski	10/2	—	10/2	
Algol	Äänekoski	19/2	—	19/2	
Pete 1000	Imatra	—	30/2	30/2	
Lokomo MS9	Tolkkinen	10/1	11/1	21/2	
	Lielähti	10/1	—	10/1	
	Mänttä	9/1	—	9/1	
	Keuruu	—	6/1	6/1	
Yhteensä Total		397/52	482/72	879/124	



Kuva 2. Tutkimusaineisto hakepuun kaatoajan mukaan.
Fig. 2. Investigation material by the cutting date of chipwood.

Metsähakkeen keskimääräinen kaukokuljetusmatka oli 39,8 km vaihtelurajojen ollessa 2—152 km. Kalusto-kohtaiset erot olivat seuraavat:

	Kuormia, kpl	Kuorman keskikoko, i-m ³	Keskimääräinen kuljetusmatka, km
Täysperävaunuautokuormat	490	53,6	54,9
Nuppiautokuormat	338	27,6	23,1
Traktorikuormat	51	26,4	14,0
Keskimäärin	879	42,0	39,8

Vetoauto- ja perävaunu kuormat on tässä yhteydessä käsitelty omina kuorminaan.

Yksityiskohtaiset leimikoittaiset puusto- ja korjuutiedot sekä niiden keskiarvot hakkureittain ja hakelajeittain ilmenevät liitteestä 2.

Hakenäytteitä seulottiin yhteensä 534 kpl Williams-reikäseulonnalla ja 71 kpl Williams-rakoseulonnalla. Wennberg-menetelmällä seulottiin yhteensä 135 näytettä reikäseulonnalla vertailuaineistoksi.

Hakkeen biomassan koostumus määritettiin yhteensä 80 näytteestä.

3. TULOKSET

31. Metsähakkeen tiiviys

311. Tiiviyyteen vaikuttavat tekijät

Metsähakkeen tiiviyyteen vaikuttavat samanaikaisesti useat eri tekijät. Niiden merkityksen selvittämiseksi tehtyjen vaiheittaisten regressioanalyysien tulokset ilmenevät taulukosta 3.

Taulukkoa on tulkittava seuraavasti:

- sarakkeesta 1 ilmenevät regressiomallien selityssasteet (R^2), kun malleissa on tarkasteltu vain yhtä muuttujaa kerrallaan
- siirryttäessä sarakkeissa eteenpäin edellisen sarakkeen malleista parhaimman selityssasteen antavaan on otettu mukaan yksi uusi muuttuja siten, että kaikki käyttämättä olevat muuttujat ovat tulleet erikseen läpikäydyiksi
- tarkastellut muuttujat selittävät koko aineiston tiiviyyden varianssia siinä tärkeysjärjestyksessä, missä ne on otettu mukaan regressiomalliin

Hakkuri ja hakelaji selittivät eniten tiiviyyden varianssista, 49,1 %. Muiden muuttujien selitysarvo yksinään oli vähäinen ja niiden mukaan ottaminen paransi selityssastetta vain 5,4 %-yksikköä. Vaiheessa 1 muodostettujen yhden muuttujan mallien yhteenlasketut selityssasteet olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta suurempia kuin vaiheessa 2 vastaavien muuttujien perusteella muodostetun mallin selityssaste. Tämä osoittaa ko. muuttujien välillä olleen riippuvuussuhteita. Riippuvuussuhteet johtuivat aineiston rakenteesta (esim. tietyllä hakkurilla tehtiin vain tiettyä hakelajia, tietty hakelaji tehtiin tietyn kokoisesta puusta jne.).

Regressiomallien jäännöshajonnat (s) olivat hakkurin ja hakelajien vaikutusta tarkastelevassa mallissa 0,0413 ja kaikkien em. muuttujien vaikutusta tarkastelevassa mallissa 0,0389. Ennen mallien muodostamista keskiarvon keskivirhe ($S_{\bar{y}}$) oli 0,0567.

Kaikki em. muuttujat sisältävään regressiomalliin otettiin kokeeksi mukaan hakkeen kosteus, mikä riippuu ko. muuttujista ainakin hakelajista, vuodenajasta ja hakepuun kuivatusajasta. Mallin selityssaste (R^2) oli 58,2 % ja sen jäännöshajonta (s) oli 0,0372.

Tarkastelu tärkeimpien hakelajien, mänty- ja koivukokopuu hakkeen muodostamisessa ryhmissä osoitti, että kosteuden ottaminen mukaan paransi mallien selityssastetta:

Mallin sisältämät muuttujat	Mäntykokopuu hake		Koivukokopuu hake	
	Selityssaste R^2 , %	Jäännöshajonta s	Selityssaste R^2 , %	Jäännöshajonta s
—	—	0,0508	—	0,0498
Hakkuri	45,2	0,0357	21,2	0,0443
Kaikki muuttujat	55,2	0,0346	47,7	0,0365
Kaikki muuttujat + kosteus	62,6	0,0317	50,8	0,0355

Tarkastelu tärkeimpien hakkureiden muodostamisessa ryhmissä antoi vastaavasti tulokset:

Mallin sisältämät muuttujat	Hakkuri					
	TT 1000 TU		TT 1000 TS		TT 1500 LP	
	Selityssaste R^2 , %	Jäännöshajonta s	Selityssaste R^2 , %	Jäännöshajonta s	Selityssaste R^2 , %	Jäännöshajonta s
—	—	0,0566	—	0,0542	—	0,0384
Hakelaji	42,9	0,0434	40,6	0,0426	32,5	0,0348
Kaikki muuttujat	49,5	0,0434	40,6	0,0426	65,3	0,0230
Kaikki muuttujat + kosteus	49,5	0,0410	50,6	0,0393	65,3	0,0230

Taulukko 3. Tuloksia vaiheittaisista regressioanalyyseistä metsähakkeen tiivyyden vaihtelun selittämiseksi.

Table 3. Results of stepwise regression analyses in explaining the variation of solid content of forest chips.

Muuttuja Variable	Vaihe, nro — Phase, No							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	R ² , % — R ² , per cent							
Hakkuri Chipper	31,7							
Hakelaji Kind of chips	30,5	49,1						
Vetoauto-/perä- vaunukuorma Truck/trailer load	10,1	33,4	50,5	51,5	52,5			
Hakepuun kuivatus- aika — Drying time of chipwood	9,9	36,2	50,3	50,8	51,4	51,4	51,4	54,5
Kaukokuljetuskalusto Transport vehicle	5,2	33,4	48,7	50,4	51,7	51,7	53,7	
Vuodenaika Season	2,9	40,8	49,1	51,0	52,1	53,2		
Hakepuun järeys Size of chipwood	1,0	31,7	51,0					
Kaukokuljetusmatka Transport distance	0,7	34,7	50,3	52,1				

Kustakin regressioanalyysin vaiheesta on "vahvennettu" muuttuja, jonka mukaan ottaminen malliin on parantanut eniten tiivyyden varianssin selityssastetta.

The variable whose inclusion in the model has improved most the degree of explanation of the variation of the solid content has been strengthened in each phase of the regression analysis.

Jäännöshajonta pieneni selvästi ryhmitel-
täessä aineisto hakelajin tai TT 1500 LP-
hakkurin osalta hakkurin mukaan. TT 1000
TU ja TS -hakkureiden ryhmissä muiden
kuin malliin sisällytettyjen muuttujien vaihte-
lu sekä ilmeisesti osaksi liian karkeat hake-
kuormien tilavuuden mittauksen tulokset
(vrt. luku 21, s. 5) aiheuttivat jäännösha-
jonnan suurenemisen. Selityssasteet heikentyi-
vät samasta syystä koivukokopuuha-
kkeella.

Viimeiset tarkastelut suoritettiin tärkeim-
missä hakkuri-hakelaji -ryhmissä. TT 1500
LP -hakkurin osalta tulokset olivat seuraav-
at:

Selittävä muuttuja	Mäntykokopuuha- ke Selitys- aste R ² , %		Koivukokopuuha- ke Selitys- aste R ² , %	
	Jäännös- hajonta s	Jäännös- hajonta s	Jäännös- hajonta s	Jäännös- hajonta s
—	—	0,0436	—	0,0358
Vuodenaika	25,6	0,0384	29,9	0,0287
Hakepuun järeys	1,1	0,0425	33,2	0,0273
Vuodenaika + hakepuun järeys	36,9	0,0352	55,7	0,0249

Kuusikokopuuha-
kkeella ainoaksi varians-
sia selittäväksi muuttujaksi osoittautui veto-
auto-/perävaunukuorma (selityssaste 9,9 %),
jonka mukaan ottaminen malliin pienensi ha-
jontaa arvosta 0,0289 arvoon 0,0276.

Mallien selityssasteet kohosivat varsinkin
havukokopuuha-
keryhmissä huomattavasti,
kun niihin otettiin selittäväksi muuttujaksi
mukaan kosteus:

	Selityssaste R ² , %	Jäännöshajonta s
Mäntykokopuuha- ke	83,5	0,0183
Koivukokopuuha- ke	68,4	0,0205
Kuusikokopuuha- ke	53,1	0,0204

TT 1000 TU -hakkurin osalta tulokset oli-
vat seuraavat:

Selittävä muuttuja	Mäntykokopuuhake		Koivukokopuuhake	
	Selitysaste R ² , %	Jäännöshajonta s	Selitysaste R ² , %	Jäännöshajonta s
—	—	0,0476	—	0,0510
Vuodenaika	—	0,0476	25,8	0,0442
Kuljetusmatka	33,6	0,0398	17,5	0,0466
Kuljetuskalusto	—	0,0476	6,2	0,0497
Vuodenaika+kuljetusmatka	51,6	0,0349	25,8	0,0442
Vuodenaika+kuljetusmatka+kuljetuskalusto	69,2	0,0286	25,8	0,0442
Kuivatusaika	31,0	0,0405	5,0	0,0500
Vuodenaika+kuivatusaika	41,7	0,0373	31,5	0,0426
Vuodenaika+kuivatusaika+kuljetusmatka	62,2	0,0286	34,7	0,0416

Kosteuden mukaan ottaminen selittäväksi muuttujaksi ei parantanut varianssin selitystasetta. TT 1000 TU -hakkurin vaihtelevat ja epäjohdonmukaiset tulokset johtuvat toisaalta sekalaisesta aineistosta (kuljetuskalusto, sivupuulajit, kuormantekotapa), ja toisaalta eräissä tapauksissa liian karkeasta hakekuormien tilavuuden mittauksesta. Kuljetusmatkan esiintyminen varianssia selittävässä muuttujana johtui hakkeen painumisesta

kuljetuksen aikana. Suurehko painuma johtui ainakin TT 1500 LP -hakkuriin verrattuna melko alhaisesta lähtötiivyydestä (vrt. Kanninen ym. 1979 ja Hovila 1981).

Hakkeen kosteus vaikutti odottamattoman selvästi tiivyyteen. Yleisesti ottaen kosteuden kohoaminen alensi tiivyyttä, mikä johtui ilmeisimmin viheraineksen (neulastupsut) mukanaolosta tuoreessa hakkeessa sekä kuivan hakkeen tuoretta haketta suuremmasta hienoainespitoisuudesta. Tulokset tärkeimpien TT 1500 LP -hakkurilla tehtyjen hakelajien osalta ilmenevät kuvasta 3.

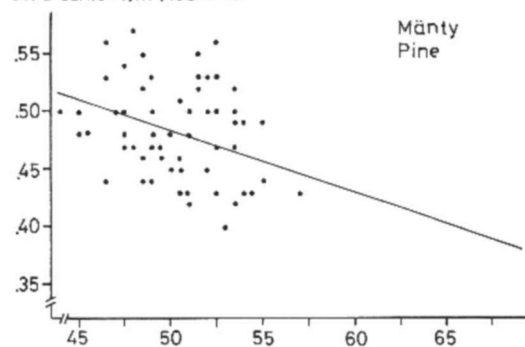
Kuvaan 3 liittyvät yhtälöt, korrelaatiokerroimet (C) ja varianssin selitystasheet (R²) olivat seuraavat:

Hakelaji	Yhtälö	C	R ² , %
Mäntykokopuuhake	$y = 0,75869 - 0,00552x$	-0,4585	21,0
Kuusikokopuuhake	$y = 0,50263 - 0,00126x$	-0,3497	4,8
Koivukokopuuhake	$y = 0,50694 - 0,00123x$	-0,1248	1,6
Leppäkokopuuhake	$y = 0,53158 - 0,00286x$	-0,5710	24,5

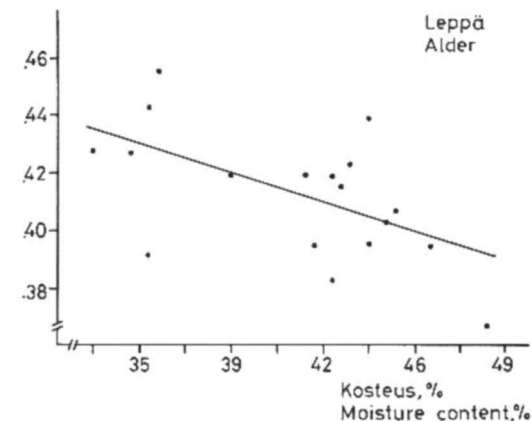
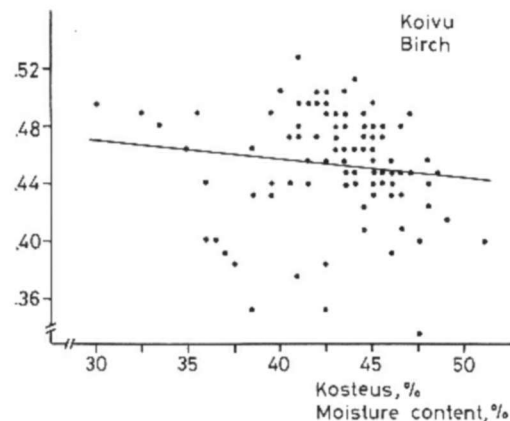
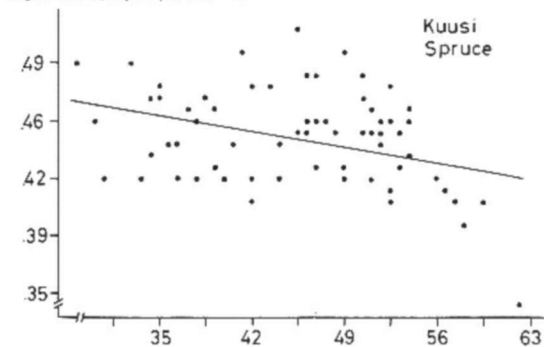
y = hakkeen tiivys, m³/i-m³

x = hakkeen kosteus, % tuoremassasta

Tiivys, m³/i-m³
Solid content, m³/loose-m³

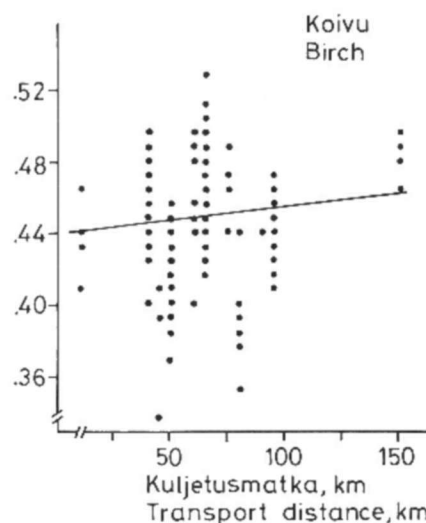
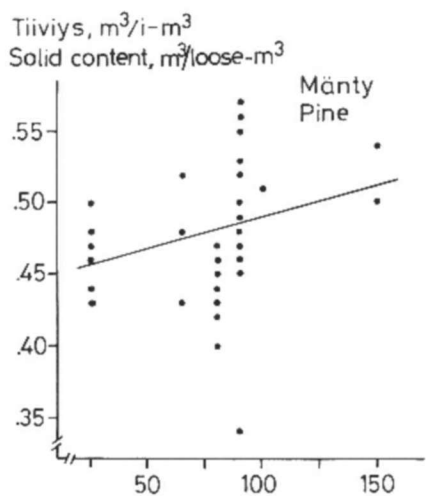


Tiivys, m³/i-m³
Solid content, m³/loose-m³



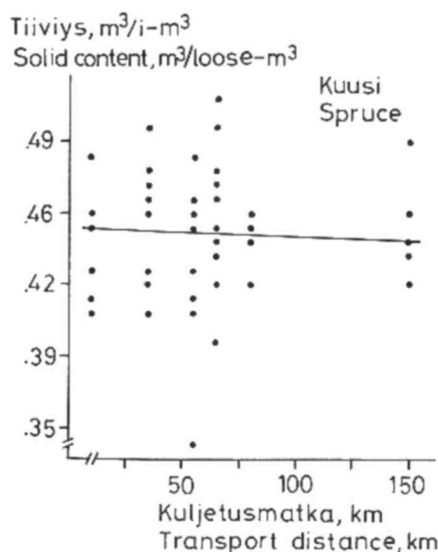
Kuva 3. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyn kokopuuhakkeen tiivyyden riippuvuus kosteudesta puulajeittain.

Fig. 3. The correlation between the solid content and the moisture content of whole tree chips made by the TT 1500 LP-chipper, by tree species.



Käytännössä tulokset merkitsevät sitä, että ylivuotisesta puusta tehty hake oli tiiviimpää kuin tuoreesta puusta tehty hake. Metsähakkeelle ovat tyypillisiä suuret oksa-, kuori- ja viherainemäärät (ks. liite 3). Oksat jäävät varsinkin tuoreesta puusta tehdyssä hakkeessa helposti haketta holvaaviksi ja tiiviyttä alentaviksi kimpuiksi. Kuori murskaantuu varsinkin ylivuotisista puuta hakettaessa hienoksi tiiviyttä kohottavaksi aineeksi.

Käytetty tiiviyyden laskentamenetelmä, jossa ylivuotisen hakepuun puuaineen kuiva- tuoretiheyttä alennettiin vastaavaan tuoreeseen hakepuuhun verrattuna (vrt. luku 21, s. 5), on saattanut hieman kärjistä eroja. Toisaalta talvella tehty hake oli kosteampaa (taulukko 10), mutta samalla tiiviimpää kuin



Kuva 4. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyn kokopuuhaakkeen tiiviyyden riippuvuus kuljetusmatkasta puulajeittain.

Fig. 4. The correlation between the solid content and the transport distance of whole tree chips made by the TT 1500 LP -chipper, by tree species.

kesällä tehty hake, mikä johtui hienojakeen määrän lisääntymisestä pakkasella tapahtuvassa haketuksessa (liitteet 4 ja 5). Tällä perusteella hakepuun kuivatusaika on vaikuttanut tiiviyyteen enemmän kuin vuodenaika.

Kuljetusmatkan vaikutus hakkeen tiiviyyteen on vähäinen laajoja aineistoja tarkasteltaessa, koska muiden, merkittävämpien muuttujien aiheuttama vaihtelu peittää kuljetusmatkan aiheuttaman vaihtelun. Kuvassa 4 on esitetty tiiviyyden riippuvuus kuljetusmatkasta erällä TT 1500 LP -hakkurilla tehdyillä hakelajeilla.

Kuviin liittyvät yhtälöt, korrelaatiokerroimet (C) ja varianssien selitysasteet (R^2) olivat seuraavat:

Hakelaji	Yhtälö	C	R^2
Mäntykokopuuhake	$y = 0,0571 + 0,00566x$	0,2842	8,1
Kuusikokopuuhake	$y = 1,1535 - 0,01107x$	-0,0595	0,4
Koivukokopuuhake	$y = 0,0104x - 0,2119$	0,1293	2,2

y = hakkeen tiiviyys, $m^3/i-m^3$
 x = kaukokuljetusmatka, km

Kuljetuskalustolla sen sijaan näytti olevan vaikutusta hakkeen tiiviyyteen, koska hake painui eri tavoin erilaisissa ajoneuvoissa. Virtain ja Rovaniemen TT 1000 TU -hakkurin

kesä- ja talviaineistoissa traktorikuormat olivat säännöllisesti nuppiautokuormia tiiviimpiä:

	Traktori Tiiviys, m ³ /i-m ³	Nuppiauto
Mäntykokopuuhaake	0,437	0,406
Koivukokopuuhaake	0,453	0,440
Koivurankahake	0,444	0,433

On mahdollista, että traktori- ja nuppiautokuormien tekotavoissa oli systemaattisia eroja, koska samalla ajoneuvolla oli koko ajan sama kuljettaja.

Täysperävaunuautojen vetoauto- ja perävaunuautojen välillä ilmeni seuraavia eroja tarkasteltaessa koko aineistoa keskijäreiden hakkureiden (TT 1000 TU ja TS) ja järeiden hakkureiden (muut hakkurit) mukaisissa ryhmissä:

	Vetoauto Tiiviys, m ³ /i-m ³	Perävaunu
Keskijäreät hakkurit	0,449	0,456
Järeät hakkurit	0,433	0,451

Vetoauto- ja perävaunuautojen väliset hakkeen tiivyserot korostuivat edelleen tarkasteltaessa tietyn hakkurin aineistoa. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyillä hakelajeilla erot olivat seuraavat:

	Vetoauto Tiiviys, m ³ /i-m ³	Perävaunu
Mäntykokopuuhaake	0,468	0,508
Kuusikokopuuhaake	0,437	0,452
Koivukokopuuhaake	0,451	0,469
Leppäkokopuuhaake	0,404	0,424
Koivurankahake	0,427	0,450

Nuppi- ja täysperävaunuautojen vetoauto- ja perävaunuautojen välillä ei ollut selviä tiivyseroja. Tuoretta kuusi- ja koivukokopuuhaaketta talvella ja ylivuotista koivurankahaketta kesällä koskevat tulokset olivat seuraavat:

	Nuppi	Tpv- vetoauto	Tpv- perävaunu
	tiiviys, m ³ /i-m ³		
TT 1500 LP koivukokopuuhaake	0,435	0,452	0,467
TT 1500 LP kuusikokopuuhaake	0,446	0,432	0,445
TT 910 R koivurankahake	0,407	0,407	0,421

Metsähakkeen tiivyyden riippuvuutta palakoosta (pituusjakaumasta) tutkittiin erikseen, koska edellä käsitellyt muuttajat kuljetuskalustoa ja -matkaa lukuun ottamatta vaikuttavat ratkaisevasti sekä tiivyyteen että palakokoon.

Pelkän karkeajakeen (>32 mm pituusjake) tai hienojakeen (<13 mm pituusjake) osuuden merkitys oli suhteellisen vähäinen, sillä varianssin selityksasteet olivat koko aineistossa 2,4 % ja 15,1 % ja erikseen käsitellyissä mänty- ja koivukokopuuhaakeaineistoissa vielä pienemmät. Hakkeen pakkautumiseen ratkaisevasti vaikuttavan hakkurin puhallusvoiman ja kuljetuksenaikaisen painuman (kuljetusmatka ja -kalusto) mukaan ottaminen malleihin paransi selityksasteen 23,0 %:iin ja 26,5 %:iin. Pelkkä hakkuri selitti yhtä paljon hakkeen tiivyyden varianssista kuin hakkuri ja palakoko yhteensä (34,4 %). Hakkurimerkin ja palakoon yhteinen tiivyyden varianssin selityksaste oli yli kaksi kertaa suurempi kuin hakkeen kuormausmenetelmän (puhallusvoiman) ja palakoon yhteinen. Tämä viittaa siihen, että hakkurin toimintaperiaate vaikuttaa hakkeen tiivyyteen yhtä lailla kuin hakkeen kuormausmenetelmä.

312. Tiivys hakkureittain ja hakelajeittain

Tiivystulokset hakkureittain ja hakelajeittain eri vuodenaikoina on esitetty kokopuuhaakkeen osalta taulukossa 4 ja ranka- ja hakkuutähdehakkeen osalta taulukossa 5. Tiivyydet olivat hakkuutähdehaketta lukuun ottamatta korkeita aikaisemmin saatuihin tuloksiin verrattuna. Poikkeuksena oli TT 1500 LP -hakkurilla tehty leppäkokopuuhaake, minkä aineisto käsitti vain yhden, keskimääräistä järeäpuustoisemman, sekapuuta sisältäneen leimikon (taulukot 4 ja 5).

Hakkurin aiheuttama tiivyyden vaihtelu oli suuri, mäntykokopuuhaakkeella 0,397—0,490 ja koivukokopuuhaakkeella 0,398—0,477. Hakkurikohtaiset erot johtuivat erilaisesta hakkeen kuormausmenetelmästä (puhallusvoimasta) ja hakkurin toimintaperiaatteesta. Molemmat tekijät aiheuttivat varianssianalyysien mukaan merkitseviä (**) tai erittäin merkitseviä (***) eroja hakkeen tiivyydessä. Kuormatilan takaa puhaltavilla hakkureilla tiivys oli jonkin verran korkeampi kuin kuormatilan päältä puhaltavilla hakkureilla (*) ja selvästi korkeampi kuin kippaavilla ja hinnakuljettimella varustetuilla hakkureilla (***). Tässä mielessä voidaan luotettavimmin vertailla keskenään päältäpuhaltavaa TT 1000 TU- ja kippaavaa TT 1000 TS -laikkahakkuria, joissa on samanlainen hakkuriosa.

Taulukko 4. Kokopuuhakkeen tiiviys hakkureittain ja puulajeittain eri vuodenaikoina.

Table 4. Solid content of whole tree chips by chipper and tree species in various seasons.

Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Vuodenaika — Season				Keskimäärin Average	Lcimikoiden vaihteluväli Range of variation between cutting sites	
		Kesä Summer		Talvi Winter				
		Tiiviys, % — Solid content, %						
\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s			
TT 1000 TU	Mänty — Pine	48,5	2,5	49,4	6,0	49,0	4,8	42,5 — 52,8
	Kuusi — Spruce			43,9		43,9		
	Koivu — Birch	45,1	3,0	50,3	5,5	47,7	5,1	
	Leppä — Alder	54,9	2,1	53,8	2,9	54,3	2,6	
TT 1000 TS	Mänty — Pine	45,3	2,3	48,6	4,4	46,4	3,3	43,7 — 52,4
	Kuusi — Spruce			39,3		39,3		
	Koivu — Birch	38,2	3,4	43,5	4,3	41,5	4,7	
	Leppä — Alder			47,9	5,3	47,9	5,3	
TT 1500 L ja LP	Mänty — Pine	46,2	3,1	50,6	4,7	47,9	4,4	44,1 — 52,1
	Kuusi — Spruce ¹	44,2	2,3	44,6	3,0	44,5	2,9	
	Koivu — Birch ¹	42,2	4,2	46,6	2,5	45,4	3,6	
	Leppä — Alder	41,4	2,2			41,4	2,2	
TT 910 R	Koivu — Birch	44,8	5,0	41,9	3,4	43,0	4,2	41,9 — 44,8
Erjo	Leppä — Alder			51,8	3,4	51,8	3,4	49,6 — 58,6
Bruks 1001 CT	Mänty — Pine	41,3	1,6			41,3	1,6	
	Koivu — Birch	39,8	1,4			39,8	1,4	
Algol	Mänty — Pine	45,5	2,9			45,5	2,9	44,1 — 46,5
Pete 1000	Mänty — Pine			39,7	2,2	39,7	2,2	38,3 — 40,8

¹ Sisältää myös osapuuta — Contains also tree parts

Lisäksi voidaan vertailla takaapuhaltavia TT 910 R- ja Algol-, päältäpuhaltavia Erjo- ja Bruks 1001 CT- sekä kippaavaa Pete 1000-hakkuria, jotka ovat rumpu- tai kartiorumpuhakkureita. On huomattava, että tietyillä hakkureilla (TT 1000 TU ja TS) hake tehtiin kokonaan ylivuotisesta pienpuusta, tietyillä hakkureilla (TT 1500 LP, Algol, Bruks 1001 CT, Pete 1000) pääosin tuoreesta, järeähköstä puusta ja tietyillä hakkureilla lähinnä hakkuutähdeestä (TT 910 R, Lokomo MS9) (liite 2).

Hakelajien väliset tiiviyserot olivat huomattavat. Päätuloksina voitiin todeta, että ranka- ja kuitupuuhake oli yleensä hieman tiiviimpää kuin kokopuuhake, ja tämä puolestaan oli huomattavasti tiiviimpää kuin hakkuutähdehake. Puulajeittainen tiiviysero noudatti kääntäen puuaineen kovuusjärjestystä. Selvästi tiiveintä oli leppähake. Mäntyhake oli tiiviimpää kuin koivuhake, joka taas oli huomattavasti tiiviimpää kuin kuusihake.

Edelleen tiiviydet olivat talvella korkeampia kuin kesällä, mikä johtui jäätyneen puun haketuksessa syntyvästä suuresta hienomurskeen määrästä (liitteet 4—7).

32. Metsähakkeen muut tekniset ominaisuudet

321. Tuore- ja kuivamassa

Hakkeen irtotilavuusyksikön tuoremassan määräävät hakkeen kuiva-tuoretiheys (kg/m^3), kosteus ja tiiviys ($\text{m}^3/\text{i-m}^3$) ja kuivamassan kuiva-tuoretiheys ja tiiviys. Hakkeen kuivamassa, $\text{kg}/\text{i-m}^3$, ilmaisee, miten paljon irtotilavuusyksikkö haketta tosiasiaa sisältää jalostettavaa tai poltettavaa biomassaa. Kuiva-tuoretiheyteen ja kosteuteen vaikuttavat tekijät ovat samoja kuin tiiviyteen vaikuttavat tekijät (vrt. luku 311, s. 8). Mitatut tuoremassat on esitetty taulukoissa 6 ja 7 ja mitatut kuivamassat taulukoissa 8 ja 9.

Taulukko 5. Kuitupuun-, ranka- ja hakkuutähdehakkeen tiiviys hakkureittain ja hakelajeittain eri vuodenaikoina.
 Table 5. Solid content of pulpwood, tree length and slash chips by chipper and kind of chips in various seasons.

Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Vuodenaika — Season				Keskimäärin Average		Leimikoiden vaihteluväli Range of variation between cutting sites
		Kesä Summer		Talvi Winter				
		Tiiviys, % — Solid content, %						
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
TT 1000 TU	Mäntyranka Pine tree length	49,5	4,3	50,8		50,1	4,4	47,9—50,8
	Koivukuitupuu ¹ Birch pulpwood	43,8	1,6	42,9	5,5	43,3	4,2	35,5—47,8
	Leppäranka Alder tree length	56,3	2,7	56,1	2,0	56,2	2,1	54,3—58,6
TT 1000 TS	Mäntyranka Pine tree length	41,4				41,4		40,6—43,1
	Koivuranka Birch tree length	46,1		45,0		45,5		45,0—46,1
TT 1500 LP	Koivukuitupuu Birch pulpwood	44,2	1,9			44,2	1,9	
TT 910 R	Koivuranka Birch tree length	43,1	4,3			43,1	4,3	
	Vihreä hakkuutähde Green slash	35,8	2,2	38,3	3,2	37,1	3,1	35,8—38,3
Lokomo MS9	Vesakko Sprouts	37,9	2,5			37,9	2,5	
	Vihreä hakkuutähde Green slash			38,9	1,3	38,9	1,3	
	Ruskea hakkuutähde Brown slash	39,8	5,6	35,8	3,9	38,3	5,3	35,8—46,9

¹ Sisältää myös rankaa — Contains also tree lengths

Koivuhakkeen ja ruskean hakkuutähdehakkeen massat ovat suuret korkean puuaineen kuiva-tuoretiheyden vuoksi. Mänty- ja leppähakkeen korkeahko massa johtuu korkeasta tiiviydestä. Kuusihakkeen ja vihreän hakkuutähdehakkeen kuiva-tuoretiheys asetuu muiden hakelajien kuiva-tuoretiheyden välille, mutta alhainen tiiviys johtaa alhaiseen kuivamassaan. Poikkeukset tästä säännöstä, TT 1500 LP -hakkurin hake kesällä ja TT 1000 TS -hakkurin hake talvella, johtuivat koivun suurehkoista osuudesta ko. hake-erisä. Kasvavan puun samoin kuin hakkeen kosteuserot vaikuttavat samaan suuntaan kuin tiiviyserot, joten tuoreesta puusta tehdyssä hakkeessa massaerot ovat suhteellisen pienet.

Hakkurin vaikutus eräiden tärkeiden met-

sähakelajien kuivamassoihin ilmenee kuvasta 5. TT 1000 TU- ja TS -hakkureilla valmistettu mänty- ja koivukokopuuuhake olivat ratkaisevasti pienemmästä ja pitemmän aikaa kuivatetusta puusta tehtyjä kuin muilla hakkureilla valmistetut vastaavat hakelajit. Hakkureiden väliset tuore- ja kuivamassaerot ovat — kuten tiiviyserotkin — johdettavissa eroista hakkeen kuormausten menetelmässä ja puhallusvoimassa (takaa puhaltava hakkuri > päältä puhaltava hakkuri > kippaava tai hihnakuuljettimella varustettu hakkuri) ja hakkurin toimintaperiaatteessa (laikkahakkuri > rumpu- ja kartiorumpuhakkuri).

Metsähakkeen tuoremassan ja kosteuden välillä vallitsee teoriassa suoraviivainen riippuvuus, jos hakkuria, haketusoloja ja haketettävää puuta koskevat tekijät ovat koko

Taulukko 6. Kokopuuhakkeen tuoremassa hakkureittain ja puulajeittain eri vuodenaikoina.
Table 6. Green weight of whole tree chips by chipper and tree species in various seasons.

Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Vuodenaika — Season			Keskimäärin Average	Hakeuor- mien vaih- teluväli Range of variation between chip loads		
		Kesä Summer	Talvi Winter	Keskimäärin Average				
		Tuoremassa, kg/i-m ³ — Green weight, kg/m ³ loose						
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}		
TT 1000 TU	Mänty — Pine	309	34	337	48	325	44	255—424
	Kuusi — Spruce	297	27	354	46	325	47	277—325
	Koivu — Birch	308	26	305	18	306	22	254—436
	Leppä — Alder	288	25	305	10	294	22	280—397
TT 1000 TS	Mänty — Pine	261	28	319	36	298	43	253—376
	Kuusi — Spruce	264	25	264	25	264	25	252—257
	Koivu — Birch	360	19	414	19	381	33	217—385
	Leppä — Alder	316	20	368	41	355	43	227—318
TT 1500 L ja LP	Mänty — Pine	320	29	378	19	362	34	318—458
	Kuusi — Spruce ¹	280	17	280	17	280	17	275—428
	Koivu — Birch ¹	301	26	400	20	364	53	260—418
	Leppä — Alder	296	25	296	25	296	25	242—312
TT 910 R	Koivu — Birch	272	5	272	5	272	5	274—352
	Leppä — Alder	287	9	287	9	287	9	265—347
Erjo	Mänty — Pine	348	14	348	14	348	14	263—275
	Koivu — Birch	372	17	372	17	372	17	282—297
Bruks 1001 CT	Mänty — Pine	348	14	348	14	348	14	317—373
	Koivu — Birch	372	17	372	17	372	17	341—402
Algol	Mänty — Pine	372	17	372	17	372	17	
Pete 1000	Mänty — Pine	372	17	372	17	372	17	

¹ Sisältää myös osapuuta — Contains also tree parts

Taulukko 7. Kuitupuun-, ranka- ja hakkuutähdhakkeen tuoremassa hakkureittain ja hakelajittain eri vuodenaikoina.
Table 7. Green weight of pulpwood, tree length and slash chips by chipper and kind of chips in various seasons.

Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Vuodenaika — Season			Keskimäärin Average	Hakeuor- mien vaih- teluväli Range of variation between chip loads		
		Kesä Summer	Talvi Winter	Keskimäärin Average				
		Tuoremassa, kg/i-m ³ — Green weight, kg/m ³ loose						
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}		
TT 1000 TU	Mäntyranka Pine tree length	257	17	284	18	260	18	231—288
	Koivukuitupuun ¹ Birch pulpwood	324	13	337	48	331	36	261—397
	Leppäranka Alder tree length	294	12	269	12	277	17	245—310
TT 1000 TS	Mäntyranka Pine tree length	263				263		254—270
	Koivuranka Birch tree length	322		318		320	14	297—335
TT 1500 LP	Koivukuitupuun Birch pulpwood	361	13			361	13	344—381
TT 910 R	Koivuranka Birch tree length	273	20			273	20	243—307
	Vihreä hakkuu- tähde Green slash	298	23	456	17	366	82	261—348
Lokomo MS9	Vesakko Sprouts	224	19			224	19	198—248
	Vihreä hakkuutähde Green slash	369	5			369	5	358—374
	Ruskea hakkuu- tähde Brown slash	334	42	351	48	341	44	275—454

¹ Sisältää myös rankaa — Also contains tree lengths

Taulukko 8. Kokopuuhakkeen kuivamassa hakkureittain ja puulajittain eri vuodenaikoina.
Table 8. Dry weight of whole tree chips by chipper and tree species in various seasons.

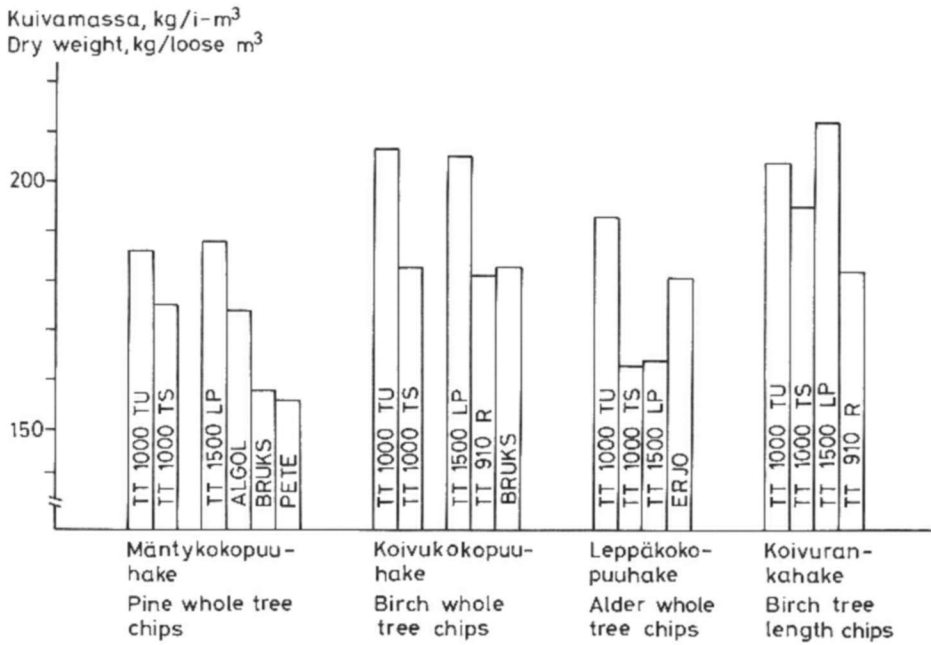
Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Vuodenaika — Season					Hakeuor- mien vaih- teluväli Range of variation between chip loads	
		Kesä Summer		Talvi Winter		Keskimäärin Average		
		\bar{x}	s	\bar{x}	s			\bar{x}
TT 1000 TU	Mänty — Pine Kuusi — Spruce Koivu — Birch Leppä — Alder	179	8	191	24	186	19	150—225 162—202 158—257 178—218
TT 1000 TS	Mänty — Pine Kuusi — Spruce Koivu — Birch Leppä — Alder	171	8	183	17	175	12	162—203 169—180 147—259 141—201
TT 1500 L ja LP	Mänty — Pine Kuusi — Spruce ¹ Koivu — Birch ¹ Leppä — Alder	182	11	197	19	188	16	133—223 145—223 146—234 147—182
TT 910 R	Koivu — Birch Leppä — Alder	189	21	176	14	181	18	161—231 162—207
Bruks 1001 CT	Mänty — Pine Koivu — Birch	158	6	177	13	177	13	158—163 176—189
Algol	Mänty — Pine	174	11	174	11	174	11	156—191
Pete 1000	Mänty — Pine	156	7	156	7	156	7	144—174

¹ Sisältää myös osapuuta — Contains also tree parts

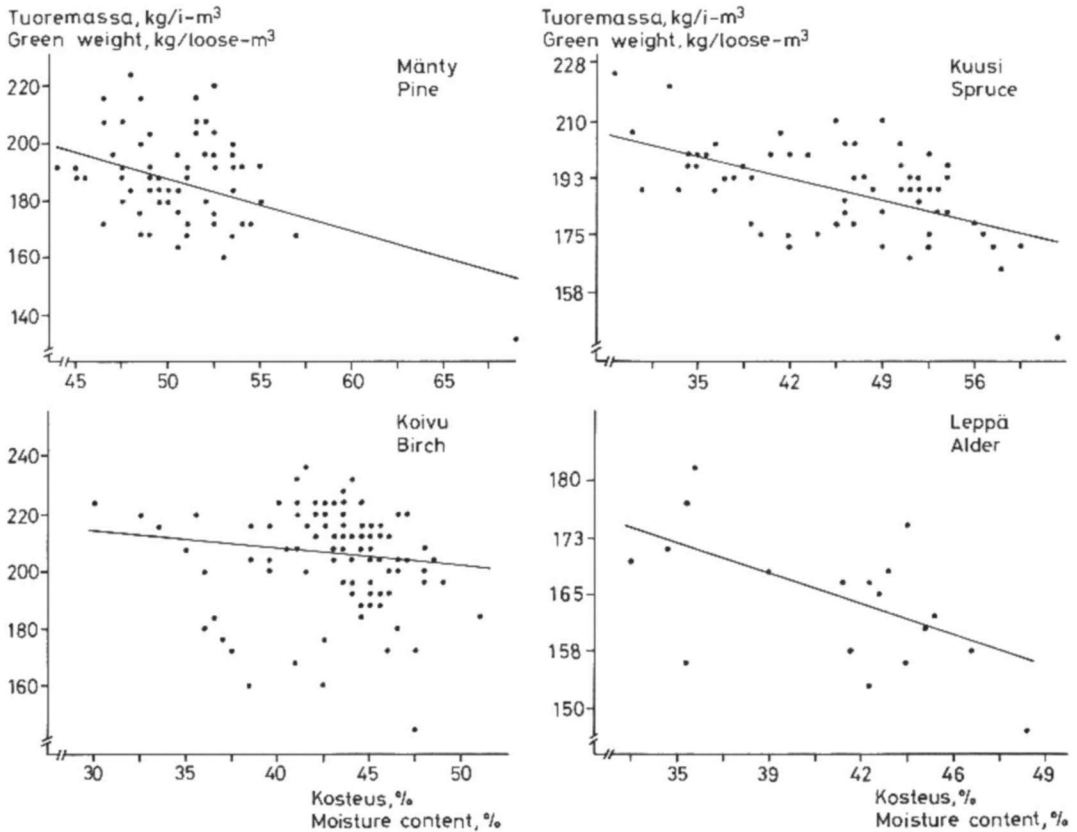
Taulukko 9. Kuitupuu-, ranka- ja hakkuutähdehakkeen tuoremassa hakkureittain ja hakelajittain eri vuodenaikoina.
Table 9. Green weight of pulpwood tree, length and slash chips by chipper and kind of chips in various seasons.

Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Vuodenaika — Season					Hakeuor- mien vaih- teluväli Range of variation between chip loads	
		Kesä Summer		Talvi Winter		Keskimäärin Average		
		\bar{x}	s	\bar{x}	s			\bar{x}
TT 1000 TU	Mäntyranka Pine tree length Koivukuitupuu ¹ Birch pulp wood Leppäranka Alder tree length	188	16	203	16	190	16	159—207 155—226 177—208
TT 1000 TS	Mäntyranka Pine tree length Koivuranka Birch tree length	161		186		161		150—173 167—218
TT 1500 LP	Koivukuitupuu Birch pulpwood	212	9	212	9	212	9	185—225
TT 910 R	Koivuranka Birch tree length Vihreä hakkuu- tähde Green slash	182	18	166	15	182	18	164—225 137—185
Lokomo MS9	Vesakko Sprouts Vihreä hakkuutähde Green slash Ruskea hakkuu- tähde Brown slash	149	10	166	5	149	10	135—163 153—174 142—232

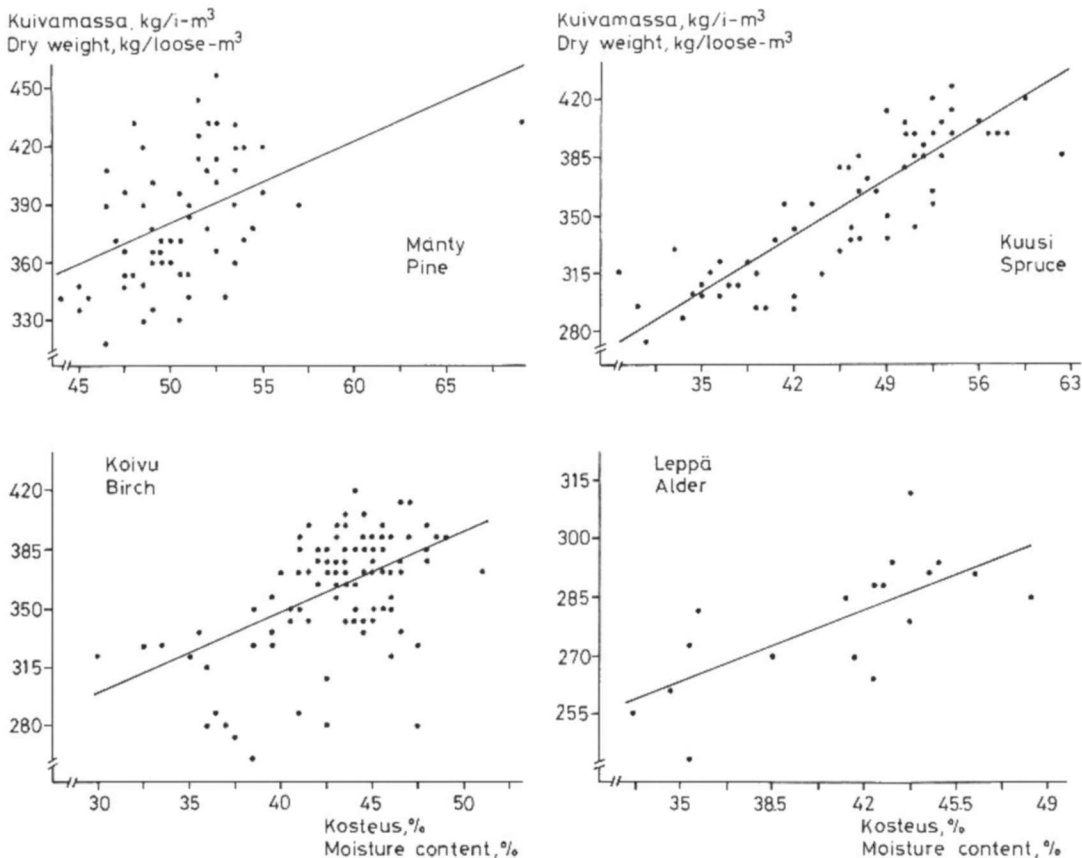
¹ Sisältää myös rankaa — Contains also tree lengths



Kuva 5. Hakkurin vaikutus eräiden metsähakelajien kuivamasaan.
Fig. 5. The effect of the chipper on the dry weight of some kinds of forest chips.



Kuva 6. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyn kokopuuhakkeen tuoremassan riippuvuus kosteudesta puulajittain.
Fig. 6. The correlation between the green weight and the moisture content of whole tree chips made by the TT 1500 LP-chipper, by tree species.



Kuva 7. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyn kokopuuhaakkeen kuivamassan riippuvuus kosteudesta puulajeittain.
 Fig. 7. The correlation between the dry weight and the moisture content of whole tree chips made by the TT 1500 LP-chipper, by tree species.

ajan samat. Havaitut riippuvuudet on esitetty kuvassa 6 eräiden TT 1500 LP -hakkurilla valmistettujen hakelajien osalta.

Kuvaan liittyvät yhtälöt, korrelaatiokerroimet (C) ja varianssin selitysasteet (R²) olivat seuraavat:

Hakelaji	Yhtälö	C	R ²
Mäntykokopuuhake	$y = 4,1313x + 172,54$	0,4595	21,1
Kuusikokopuuhake	$y = 4,6700x + 140,16$	0,8726	76,2
Koivukokopuuhake	$y = 4,8319x + 152,97$	0,5199	21,0
Leppäkokopuuhake	$y = 2,6833x + 169,48$	0,7044	35,0

y = hakkeen tuoremassa, kg/i-m³
 x = hakkeen kosteus, % tuoremassasta

Metsähakkeen kuivamassan ja kosteuden välillä todettiin oleen päinvastaisen mutta lievemmän riippuvuuden kuin tuoremassan ja kosteuden välillä (kuva 7).

Kuvaan liittyvät yhtälöt, korrelaatiokerroimet (C) ja varianssin selitysasteet (R²) olivat seuraavat:

Hakelaji	Yhtälö	C	R ²
Mäntykokopuuhake	$y = 285,42 - 1,9257x$	-0,4333	18,8
Kuusikokopuuhake	$y = 231,88 - 0,9377x$	-0,5540	30,7
Koivukokopuuhake	$y = 232,45 - 0,6394x$	-0,1386	1,9
Leppäkokopuuhake	$y = 211,04 - 1,1370x$	-0,5710	31,1

y = hakkeen kuivamassa, kg/i-m³
 x = hakkeen kosteus, % tuoremassasta.

Vertailu tuoreen ja ylivuotisen hakkeen välillä osoitti, että hakepuun kuivatuksesta aiheutuneiden kuiva-ainetappioiden (puuaineen lahoaminen) kohoamisen kuivamassaa alentava vaikutus oli vähäisempi kuin tiiviiden kohoamisen kuivamassaa kohottava vaikutus:

	Kesä		Talvi	
	Tuore	Ylivuotinen	Tuore	Ylivuotinen
Kuivamassa, kg/i-m ³				
Mäntykokopuuhake	169	178	199	187
Kuusikokopuuhake	177	200	186	191
Koivukokopuuhake	183	219	211	212

Hakkurina tässä vertailussa oli TT 1500 LP kesällä tehtyä mäntykokopuuhaketta lukuun ottamatta, mikä valmistettiin Alghakkurilla. Hakepuu oli ainespuuta sisältänyttä ensiharvennuspuuta, kuusella ja koivulla osaksi myös osapuuta. Yleissäännöstä poikkeava tulos talvella tehdyn mäntykokopuuhakkeen kohdalla saattoi olla pelkkä satuma, koska ylivuotisesta puusta tehtyä haketta oli ainoastaan kolme kuormaa.

Tuoreesta ja ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassaero oli talvella pienempi kuin kesällä, koska talvihaketuksessa jäätyneet oksat, latva ja neulaset karsiutuivat sekä tuoreesta että ylivuotisesta kokopuusta helposti haketuspaikalle. Oksien ja latvusten tiheys on kuusella ja koivulla selvästi suurempi kuin rungon tiheys, männyllä ero on pienempi (Hakkila 1971).

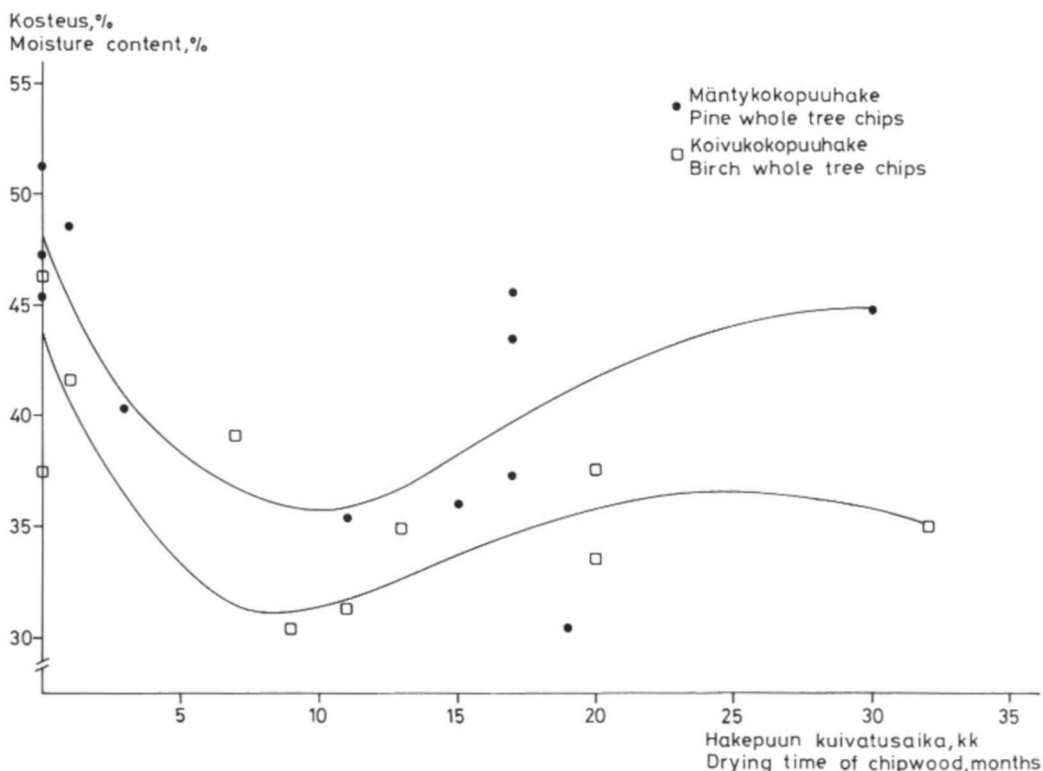
322. Kosteus

Metsähakkeen kosteus riippuu hakelajista (puu- ja puutavaralaji), hakepuun käsittely- ja varastointitavasta ja -ajasta sekä vuodenajasta. Taulukossa 10 on esitetty kosteustulokset näiden tekijöiden mukaista ryhmitteilyä noudattaen. Vuodenajan ja kuivatusajan mukainen ryhmittely on tehty samoin perustein kuin tiivistuloksia laskettaessa.

Sateisilla syysilmoilla hakettujen erien ottaminen mukaan kesäaineistoon on johtanut eräissä tapauksissa ylivuotisesta puusta kesällä tehdyn hakkeen korkeahkoon kosteuteen (mänty- ja leppäkokopuu, leppäranka). Rasissa tai välivarastolla jo hyvin kuivunut hakepuu alkaa syksyllä imeä takaisin kosteutta ilman suhteellisen kosteuden kohotusta. Varsinkaan lahonnut puu ei tämän jäl-

Taulukko 10. Metsähakkeen kosteus hakelajeittain eri vuodenaikoina.
Table 10. Moisture content of forest chips by kind of chips in various seasons.

Hakelaji Kind of chips	Vuodenaika — Season									Leimikoiden vaihteluväli Range of variation between cutting sites %
	Kesä Summer			Talvi Winter			Keskimäärin Average			
	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	
Kokopuu — Whole tree										
Mänty — Pine										
Tuore — Green	57	48,4	3,3	57	55,2	4,3	114	52,0	4,8	47,1—59,1
Ylivuotinen — Brown	33	43,8	6,2	22	43,7	6,7	55	43,7	6,5	30,5—52,4
Kuusi — Spruce										
Tuore — Green	7	46,8	2,4	36	52,5	3,6	43	51,6	4,0	46,8—54,7
Ylivuotinen — Brown	12	34,1	3,7	25	39,7	4,6	37	37,9	5,0	31,5—45,2
Koivu — Birch										
Tuore — Green	25	41,6	4,4	69	45,3	6,3	94	43,9	7,1	37,6—55,8
Ylivuotinen — Brown	102	33,3	4,6	138	38,4	5,3	240	36,1	5,5	30,6—47,5
Leppä — Alder										
Tuore — Green	20	41,4	4,3	0	—	—	20	41,4	4,3	
Ylivuotinen — Brown	13	38,3	5,9	73	38,4	3,4	86	38,4	4,6	33,3—46,6
Ranka — Tree length										
Mänty — Pine										
Ylivuotinen — Brown	21	29,0	5,2	3	28,2	1,1	24	28,9	4,8	26,0—28,2
Koivu — Birch										
Tuore — Green	20	41,2	1,2	0	—	—	20	41,2	1,2	
Ylivuotinen — Brown	30	34,8	4,3	28	40,7	5,2	58	37,3	5,6	31,6—44,1
Leppä — Alder										
Ylivuotinen — Brown	6	35,1	1,7	13	30,3	3,1	19	31,7	3,5	26,4—37,7
Hakkuutähde — Slash										
Vihreä — Green	19	48,5	3,1	20	61,4	4,9	39	55,0	7,6	47,1—63,9
Ruskea — Brown	19	43,6	14,5	11	50,9	6,2	30	46,3	12,5	30,1—56,2
Vesakko — Sprouts										
Ylivuotinen — Brown	10	33,2	4,0	0	—	—	10	33,2	4,0	



Kuva 8. Mänty- ja koivukokopuuhaakkeen kosteuden riippuvuus hakepuun kuivatusajasta, elo-marraskuun haketoimitukset. Havainnot ovat leimikkokohtaisia keskikosteuksia.

Fig. 8. The correlation between the moisture content of pine and birch whole tree chips and the drying time of chipwood, chip deliveries between August and November. The observations are means of the chip loads from certain cutting sites.

keen enää kuivu helposti. Talvella hakkeen sekaan joutuva lumi ja jää lisäävät kosteutta ja aiheuttavat epäsäännöllisyyttä kosteuden riippuvuudessa kuivatusajasta ja kuivatuksen aikaisesta säästä. Kuvat 8 ja 9 havainnollistavat näitä ilmiöitä.

Hakkeen kosteus vaihteli hakelajin sisällä huomattavasti, kuten kuva 10 osoittaa. Suurinta vaihtelu oli hakkuutähdehakeella (30—64 %) ja pienintä rankahakeella (25—44 %).

Kokopuuhaakkeen kosteuden suuri vaihtelu (30—69 %) johtui osittain hakepuun kuivatusajan mukauttamisesta hakkeen käyttötarkoitukseen: metsäteollisuuden raaka-aineeksi käytettävä hake hankittiin enimmäkseen tuoreena, kun taas polttohake hankittiin mahdollisimman kuivana (vrt. luku 22, s. 6).

Kasvavan puun kosteus vaihtelee puulajin ja puun koon lisäksi erityisesti vuodenajan mukaan (Hakkila 1962). Valtaosa hakepuusta kaadetaan varsinkin metsäteollisuusyritysten metsähakkeen hankinnassa elo-marras-

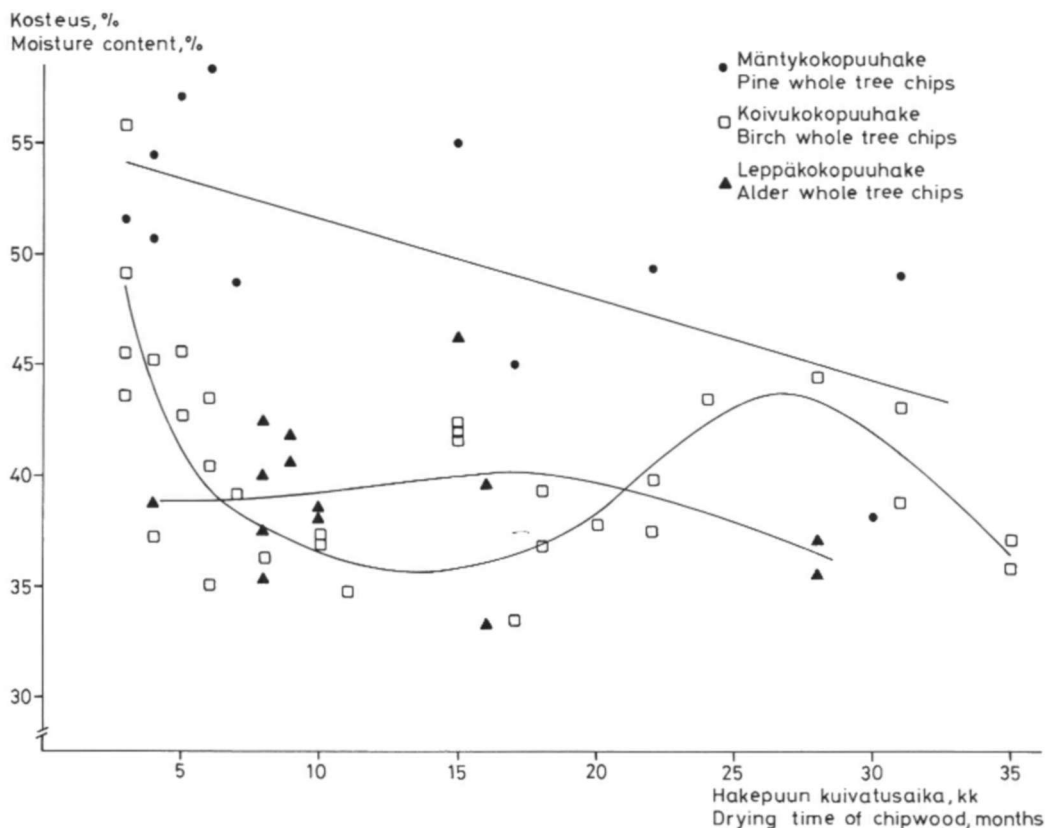
kuussa (kuva 2, s. 7). Eri aikaan syksyllä kaadetun puun kosteusvaihtelut ilmenivät talvella tuoreesta puusta tehdyn hakkeen kosteuden vaihteluna seuraavasti:

	Kaatokuukausi			
	8	9	10	11
Mäntykokopuuhake	—	48,7	53,2	50,9
Kuusikokopuuhake	49,0	53,8	—	—
Koivukokopuuhake	40,3	44,0	45,1	47,3

Nämä tulokset koskevat TT 1500 LP hakkurilla järeästä kokopuusta tehtyä haketta. On kuitenkin huomattava, että lumen ja jään määrän vaihtelu eri leimikoiden hakepuupinojen välillä on saattanut sotkea tuloksia.

Hakkureiden välillä ilmeni talvella systemaattisia eroja tuoreesta puusta tehdyn hakkeen kosteudessa:

	TT 1500 LP	TT 910 R	Pete 1000
	Kosteus, %		
Mäntykokopuuhake	51,5	—	58,0
Koivukokopuuhake	44,6	55,8	—



Kuva 9. Mänty-, koivu- ja leppäkokopuuhakkeen kosteuden riippuvuus hakepuun kuivatusajasta, joulukuuhuhtikuun haketoimitukset. Havainnot ovat leimikkokohtaisia keskikosteuksia.

Fig. 9. The correlation between the moisture content of pine, birch and alder whole tree chips and the drying time of chipwood, chip deliveries from December to April. The observations are means of the chip loads from certain cutting sites.

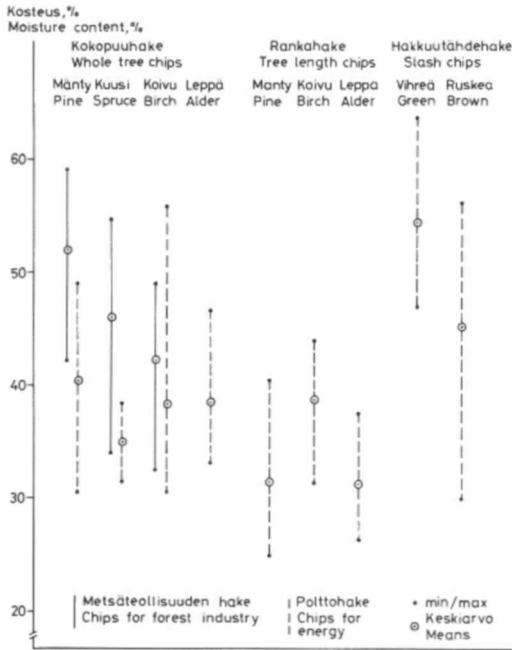
Tulokset viittaavat lumen ja jään erilaiseen varisemiseen haketuspaikalle, mikä johtui hakkureiden erilaisista syöttölaitteista ja/tai haketussäiden vaihteluista.

323. Palakoko

Metsähakkeen palakoon tutkimisessa keskityttiin pituusjakaumaan, jolla on merkitystä lämpölaitosten toiminnan kannalta. Sellun valmistuksen kannalta hakkeen pituusjakauman merkitys liittyy sen korrelaatioon paksuusjakauman ja jakeittaisen biomassakoostumuksen kanssa (esim. Mäkelä 1977a, Kanninen ym. 1979). Hakkeen paksuus ja paksuusjakauma, jota tässä tutkittiin vain suuntaa-antavasti, ovat selvästi tärkeimmät hakkeen dimensiot sellun valmistuksen kannalta (Mäkelä 1977a, Lönnberg 1986).

Liitteissä 4–7 on esitetty metsähakkeen keskimääräiset pituusjakaumat hakkureittain ja hakelajeittain eri vuodenaikoina. Liitteet 4 ja 5 sisältävät tulokset järeillä laikkahakkureilla sekä rumpu- ja kartiorumpuhakkureilla kuitupuun vähimmäismitat täyttävästä puusta tehdystä hakkeesta. Tämä hake käytettiin metsäteollisuuden raaka-aineeksi (leppäkokopuuhake lastulevyn, muu hake sulfaattiselluloosan valmistukseen). Liitteet 6 ja 7 sisältävät tulokset keskijäreillä laikkahakkureilla sekä muilla hakkureilla kuitupuun vähimmäismittoja pienemmästä puusta tehdystä hakkeesta, joka käytettiin energian tuotantoon lämpölaitoksissa. Hyväksytyiksi jakeiksi on taulukoissa luettu 13–32 mm pituusjakeet, jotka ainakin kelpaavat sellun valmistukseen sekä palakoon (Metsola 1983) että biomassan koostumuksen (Kanninen ym. 1979) puolesta.

Pyrittäessä saamaan selville todellinen käyttökelpoisen hakkeen osuus on 13–32



Kuva 10. Hakkeen leimikkokohtaisen keskikosteuden vaihtelu hakelajeittain.

Fig. 10. The variation of the average moisture content of the chips from certain cutting sites, by kind of chips.

mm pituusjakeiden osuuteen lisättävä osa välijakeen (6–13 mm pituusjake) osuudesta. Taulukossa 11 esitetyt vertailutulokset Wennberg- ja Williams -reikäseulontamenetelmällä mitatuista hyväksytyjen jakeiden osuuksista tukevat tätä arviota.

Hyväksytyjen jakeiden nimellismitat olivat tässä eri seulontamenetelmissä seuraavat:

- Wennberg : 6 mm < pituus < 45 mm, paksuus < 8 mm
- Williams 1 : 13 mm < pituus < 32 mm
- Williams 2 : 6 mm < pituus < 32 mm

Hyväksytyyn hakkeen osuus välijakeesta riippui hakelajista ja vuodenajasta, kuten seuraavasta asetelmasta ilmenee. Hyväksytyyn välijakeen osuudet on laskettu jakamalla Wennberg- ja Williams 1 -menetelmillä saatuun hyväksytyyn hakkeen osuukseen erotukset kulloisellakin Williams 2 -menetelmän 6–13 pituusjakeen osuudella.

Hyväksytyä haketta Williams-reikäseulontaan välijakeesta (6–13 mm pituusjake), % tuoremassasta

	Kesä	Talvi
Mäntykokopuuuhake	18,9	6,0
Kuusikokopuuuhake	6,0	65,0
Koivukokopuuuhake	25,5	78,7
Koivukuitupuuuhake	68,8	—
Hakkuutähdehake	24,0	—

Taulukko 11. Wennberg-seulontan ja Williams-reikäseulontan tulosten vertailu. TT 1500 LP -hakkuri.
Table 11. Comparison of results of Wennberg screening and Williams hole screening. TT 1500 LP chipper.

Hakelaji Kind of chips	Leimikon nro Number of cutting site	Näytteitä, kpl Number of samples	Vuodenaika Season	Seulontamenetelmä — Screening method								
				Wennberg			Williams 1			Williams 2		
				\bar{x}	s	Ero	\bar{x}	s	Ero	\bar{x}	s	Ero
Mäntykokopuu Pine whole tree	1	14	Kesä — Summer	63,6	2,43	63,4	3,09	- 0,2	81,0	2,69	+17,4	
	2	18	Kesä — Summer	66,9	2,67	61,8	2,97	- 5,1	82,4	1,75	-15,5	
	3 ¹	15	Talvi — Winter	54,2	1,77	52,8	1,76	- 1,4	76,1	1,22	+21,9	
Kuusikokopuu Spruce whole tree	1 ³	12	Kesä — Summer	58,2	3,24	56,9	3,07	- 1,3	73,5	4,55	+15,3	
	2	6	Kesä — Summer	56,8	2,80	56,3	2,19	- 0,5	77,9	2,43	+21,1	
	3	10	Talvi — Winter	64,8	4,31	46,4	3,53	-18,4	74,7	3,18	+ 9,9	
Koivukokopuu Birch whole tree	1 ³	6	Kesä — Summer	64,9	1,78	62,2	1,75	- 2,7	78,3	2,72	+13,4	
	2	2	Kesä — Summer	65,5	2,90	61,6	0,07	- 3,9	76,5	0,78	+11,0	
	3	3	Kesä — Summer	67,4	0,31	61,0	1,62	- 6,4	78,5	0,17	+11,1	
	4	11	Kesä — Summer	67,4	4,30	62,2	1,60	- 5,2	81,9	2,79	+14,5	
	5	5	Kesä — Summer	66,7	1,00	61,3	2,38	- 5,4	81,4	2,12	+14,7	
	6	7	Talvi — Winter	74,8	2,13	57,4	5,10	-17,4	79,5	5,39	+ 4,7	
Koivukuitupuu Birch pulpwood	1	20	Kesä — Summer	74,1	3,50	64,6	2,22	- 9,5	78,7	2,38	+ 4,3	
Vihreä hakkuutähde Green slash	1 ²	9	Kesä — Summer	36,2	1,97	31,0	6,71	- 5,2	52,6	5,49	+16,4	

¹ Pete 1000 -hakkuri — Pete 1000 chipper

² TT 910 R -hakkuri — TT 910 R chipper

³ Hakepuu ylivuotista — Brown chipwood

Hyväksytyn väljakeen osuus oli talvella suurempi kuin kesällä ja se oli suurimmillaan hakelajeilla, joilla palakoko oli muutenkin edullisin.

Hakepuun kuivatusajan vaikutus hyväksytyn hakkeen osuuteen riippui puulajista. Tarkasteltaessa samalla hakkurilla tehtyä haketta ilmeni seuraavia eroja:

- mäntykokopuuuhake: tuore hake parempaa, ero 4—10 %-yksikköä
- kuusikokopuuuhake: ylivuotinen hake parempaa, ero 1—14 %-yksikköä
- koivukokopuuuhake: tuore hake parempaa, ero 0—2 %-yksikköä
- hakkuutähdehake: tuore hake parempaa, ero 10—15 %-yksikköä

Tulokset viittaavat siihen, että kuusikokopuuuhakkeen laatua heikentävät eniten oksanpätkät ja neulaskimput, joita jää runsaasti tuoreesta puusta tehtyyn hakkeeseen. Muiden hakelajien laatua näyttäisi heikentävän eniten hienojae (oksa- ja kuorimurske), jota syntyy runsaasti kuivaa, ylivuotista puuta hakettaessa (kuva 11). Kesällä selviä eroja esiintyi ainoastaan mäntykokopuuuhakkeella. Muilla hakelajeilla suuret erot esiintyivät nimenomaan talvella.

Talvella läpikäytyneestä puusta tehty hake sisälsi vähemmän hyväksytyjä jakeita kuin kesällä sulasta puusta tehty hake. Ero oli erityisen selvä tuoreesta, järeähköstä puusta tehdyllä kokopuu- ja kuitupuuhakkeella sekä vihreällä hakkuutähdehakkeella:

- mäntykokopuuuhake 23 %-yksikköä
- kuusikokopuuuhake 13 %-yksikköä
- koivukokopuuuhake 8 %-yksikköä
- koivukuitupuuhake 15 %-yksikköä
- vihreä hakkuutähdehake 16 %-yksikköä

Ylivuotisesta puusta tehdyllä hakkeella vuodenajasta johtunut ero oli pienempi, esim. järeähköstä puusta tehdyllä kuusikokopuuuhakkeella ± 0 %-yksikköä ja koivukokopuuuhakkeella 8 %-yksikköä. Pienpuusta tehdyn hakkeen osalta ilmeni myös päinvastaisia eroja, ääritapauksena mäntyrankahake (ero 8 %-yksikköä).

On syytä korostaa, että haketusolot ja hakkeen ominaisuudet (esim. sivupuulajin osuus, viheraineen varisemisaste) vaihtelivat tutkittujen hakeryhmien välillä. Järeähköstä puusta tehdyllä selluhakkeella vaihtelu oli pienempää kuin pienestä puusta tehdyllä polttohakkeella. Tämän ja leimikon sisäisen hakepuun järeyden vaihtelun vuoksi järeyden vaikutusta hyväksytyn hakkeen osuuteen ei

voitu selvittää luotettavasti. Eräitä viitteitä saatiin kuitenkin mm. Kannisen ym. (1979) toteamasta hakkeen laadun paranemisesta hakepuun järeyden kasvaessa, erityisesti ylivuotista puuta hakettaessa. Esim. TT 1500 LP -hakkurin aineistossa ilmenneet keskimääräiset ensiharvennusleimikoista korjatun kokopuuuhakkeen (hakepuun $d_{1,3}$ 7—8 cm) ja avohakkuista korjatun ns. osapuuhakkeen (hakepuu $d_{1,3}$ 9—12 cm) väliset erot olivat seuraavat:

	Kokopuuuhake		Osapuuhake	
	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi
	Hyväksytyjä jakeita, % tuoremassasta			
Kuusi, tuore	61,9	—	—	45,5
ylivuotinen	—	56,3	61,8	56,8
Koivu, tuore	61,7	56,2	62,5	55,6
ylivuotinen	—	52,8	62,2	65,3

Liitteissä 8 ja 9 on esitetty hakkeen pakkuusjakaumatulokset hakelajeittain eri vuodenaikoina eri hakkureilla tehtynä. Hyväksytyiksi jakeiksi on luettu 2—8 mm pakkuusjakeet.

324. Tehollinen lämpöarvo

Metsähakkeen irtotilavuusyksikön tehollinen lämpöarvo riippuu hakkeen biomassan koostumuksesta, kuiva-tuoretiheydestä, tiiviydestä ja kosteudesta (Hakkila 1984). Taulukossa 12 on esitetty kuitupuun vähimmäismittoja pienemmästä, ylivuotisesta puusta ja hakkuutähdeestä tehdyn hakkeen (varsinaisen polttohakkeen) ja taulukossa 13 kuitupuun vähimmäismitat täyttävästä puusta tehdyn hakkeen (selluhakkeen) teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa hakkureittain ja hakelajeittain eri vuodenaikoina. Laskelmat on tehty edellyttäen, että eri hakelajien kosteudet ovat taulukon 5 (s. 12) mukaiset ja kaikilla hakkureilla samat.

Taulukoiden perusteella voitiin tehdä seuraavat johtopäätökset:

- koivun ja etenkin koivurankahakkeen lämpöarvo oli korkein
- leppähake oli lämpöarvoltaan lähellä koivua
- ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen lämpöarvot olivat korkeampia kuin tuoreesta puusta tehdyn hakkeen lämpöarvot
- rankahakkeen lämpöarvot olivat korkeampia kuin kokopuuuhakkeen
- ruskean hakkuutähdehakkeen lämpöarvot olivat korkeampia kuin vihreän hakkuutähdehakkeen lämpöarvot
- hakkeen lämpöarvot olivat talvella korkeampia kuin kesällä

Taulukko 12. Metsähakkeen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa hakureittain ja hakelajittain eri vuodenaikoina hakkeen keskimääräisessä käyttökostudessa. Ainespuuta pienemmästä, ylivuotisesta puusta tehty hake.

Table 12. Effective fuel value in dry material of forest chips, by chipper and kind of chips in various seasons, in the average moisture content of the chips in use. Chips made of brown wood smaller than commercial pulpwood.

Hakkuri Chipper	Hakelaji — Kind of chips	Lämpöarvo, MJ/m ³ Fuel value, MJ/m ³ loose	Kesä Summer	Talvi Winter
TT 1000 TU	Mäntykokopuu — Pine whole tree	3370	3190	3370
	Kuusikokopuu — Spruce whole tree	3180	—	3180
	Koivukokopuu — Birch whole tree	3730	3560	3730
	Leppäkokopuu — Alder whole tree	3510	3550	3510
	Mäntyranke — Pine tree length	3710	3440	3710
	Koivuranke — Birch tree length	3590	3850	3590
	Leppäranke — Alder tree length	3620	3570	3620
TT 1000 TS	Mäntykokopuu — Pine whole tree	3260	3050	3260
	Kuusikokopuu — Spruce whole tree	2950	—	2950
	Koivukokopuu — Birch whole tree	3370	2970	3370
	Leppäkokopuu — Alder whole tree	3070	—	3070
	Mäntyranke — Pine tree length	2740	2740	—
	Koivuranke — Birch tree length	3350	3520	3350
TT 910 R	Koivuranke — Birch tree length	3320	3320	—
	Vihreä hakkuutähde — Green slash ¹	2670	2670	2720
Erjo	Leppäkokopuu — Alder whole tree ¹	—	—	3190
Lokomo MS9	Vihreä hakkuutähde — Green slash ¹	—	—	2800
	Ruskea hakkuutähde — Brown slash	3280	3280	2940

¹ Hakkepuu tuoretta — Green chipwood

Taulukko 13. Metsähakkeen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa hakureittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina hakkeen keskimääräisessä käyttökostudessa. Ainespuuta sisältävästä puusta tehty hake.

Table 13. Effective fuel value in dry material of forest chips by chipper, kind of chips and degree of dryness in various seasons in the average moisture content of the chips in use. Chips made of wood containing commercial pulpwood.

Hakkuri Chipper	Hakelaji Kind of chips	Kuivusaste Kind of dryness	Lämpöarvo, MJ/m ³ Fuel value, MJ/m ³ loose	Kesä Summer	Talvi Winter
TT 1500 L ja LP	Mäntykokopuu Pine whole tree	Tuore — Green	3310	3060	3310
	Kuusikokopuu Spruce whole tree	Ylivuotinen — Brown	3120	—	3120
	Koivukokopuu Birch whole tree	Tuore — Green	3040	2990	3040
	Mäntykokopuu Pine whole tree	Ylivuotinen — Brown	3380	3590	3380
	Koivukokopuu Birch whole tree	Tuore — Green	3200	3200	3680
	Leppäkokopuu Alder whole tree	Ylivuotinen — Brown	3900	3900	3700
	Leppäkokopuu Alder whole tree	Tuore — Green	2790	—	—
TT 910 R	Koivukokopuu Birch whole tree	Tuore — Green	3730	—	—
	Koivukokopuu Birch whole tree	Tuore — Green	3330 ¹	—	2980
Bruks 1001 CT	Mäntykokopuu Pine whole tree	Tuore — Green	2710	—	—
	Koivukokopuu Birch whole tree	Tuore — Green	3220	—	—
Algol	Mäntykokopuu Pine whole tree	Tuore — Green	2910	—	—
	Koivukokopuu Birch whole tree	Ylivuotinen — Brown	3310	—	—
Pete 1000	Mäntykokopuu Pine whole tree	Tuore — Green	—	—	2700

¹ Hakkepuu tuoreen ja ylivuotisen puun rajatapaus
Chipwood was a borderline case of green and brown wood



Mäntykokopuuuhake (TT 1500 L -hakkuri)
Whole tree chips of pine (TT 1500 L chipper)



Kuusikokopuuuhake (TT 1500 LP-hakkuri)
Whole tree chips of spruce (TT 1500 LP-chipper)



Koivukokopuuuhake (TT 1500 LP-hakkuri)
Whole tree chips of birch (TT 1500 LP-chipper)



Koivurankahake (TT 1000 TU-hakkuri)
Bole chips of birch (TT 1000 TU chipper)



Vihreä hakkuutähdehake (TT 910 R -hakkuri)
Green slash chips (TT 910 R chipper)



Ruskea hakkuutähdehake (Lokomo MS9 -murskain)
Brown slash chips (Lokomo MS9 crush)

Kuva 11. Esimerkkejä eri hakelajeista.
Fig. 11. Examples of various kinds of chips.

4. TULOSTEN TARKASTELU

41. Metsähakkeen tiivys ja sen soveltuvuus tilavuusmittauksen perusteeksi

Hakkuri ja hakelaji (puu- ja puutavaralaji) osoittautuivat kiistatta selvimmin hakkeen tiivyyden vaihtelua selittäviksi muuttujiksi (varianssin selitysaste 49,1 %). Täten metsähakkeen mittauksessa käytettävien tiiviyslukujen tulee todella pohjautua näiden muuttujien mukaiseen ryhmittelyyn. Käytännössä tulee pyrkiä määrittelemään tiiviysluvut hakkurityypeittäin, ei hakkurimerkeittäin, koska uusia hakkurimerkkejä tulee koko ajan markkinoille. Hakkurityyppi on määriteltävä ko. tarkoitusta varten hakkurin toimintaperiaatteen (vaikuttaa hakkeen palakokoon) ja hakkeen kuormausmenetelmän (puhallusvoiman) avulla. Aikaisemminkin on jo todettu, että puhallusvoimaa säätämällä on hakkeen tiivyyttä voitu vaihdella välillä 0,38—0,48 (Pellikka 1983). Ko. muuttujien ilmaiseminen numeerisessa muodossa ei ole mahdollista — ehkä hakkeen puhallusvoimaa lukuun ottamatta —, joten käytännössä on tyydyttävä hakkurien karkeaan ryhmittelyyn. Seuraavassa luettelossa, jossa ovat mukana Suomen yleisimmät metsähakeurakointiin tarkoitettut hakkurit, on menetelty tällä tavalla

	Takaa- puhaltavat	Päältä- puhaltavat	Kippaavat	Hihna- kuljetin
Laikka- hakkurit	TT 1500 L TT 1500 LP	TT 1000 TU TT 1250 M Junkkari HJ30 Karhula 312 CS Hake-Jakke 2000 Hake-Jakke 2000AE	TT 1000 TS TT 1000 F	—
Rumpu- ja kartio- rumpu- hakkurit	Algol TT 910 R	Bruks 1001 CT TT 97 R HS 500 HD HS 1000 HDK Erjo 120-HV-900	Bruks 1001CT ¹ Pete 1000	—
Murskaimet	—	—	—	Lokomo MS 9 Morgårds- hammar- levymurskain

¹ Ruotsissa yleisesti käytetty versio

Tässä tutkimuksessa mitatut TT 910 R -hakkurin tiivistulokset ovat ilmeisesti hie-
man normaalia alhaisemmat käytetyn kuor-
mausmenetelmän vuoksi.

Hakkurin vaikutus tiiviyteen oli 0,011—
0,100 yksikköä. Hakelajin vaikutus tiiviyteen

oli 0,015—0,136 yksikköä. Muiden muuttu-
jien vaikutus hakkeen tiiviyteen näytti riip-
puvan hakelajista. Koivukokopuu-
hakkeella oleellisen suuri ja kuusikokopuu-
hakkeella vähäinen. Tärkeimmät ko. muuttu-
jista olivat hakepuun kuivatusaika, vuoden-
aika ja hakepuun järeys.

Hakepuun kuivatusajan vaikutusta hak-
keen tiiviyteen voitiin tutkia järeästä koko-
puusta tehdyn hakkeen ja suuntaa-antavasti
hakkuutähdehakkeen osalta. Kuivatusajan
vaikutus oli hakelajista riippuen 0,003—
0,066 yksikköä, ja suurimmillaan se oli koiv-
vukokopuu-
hakkeella kesällä. Erot osoittau-
tuivat tilastollisesti merkitseviksi. Sama asia
voitiin osoittaa välillisesti tiivyyden ja koste-
uden välisellä regressioanalyysillä. Hakkeen
kosteuden ja tiivyyden kannalta oleellisia
kuivatusaikaeroja ilmenee käytännössä läh-
innä hakkuutähdehakkeen ja metsäteolli-
suuden raaka-aineksi käytettävän kokopuu-
hakkeen hankinnassa. Lämpölaitosten pien-
kokopuu- ja rankahake pyritään hankki-
maan mahdollisimman kuivana, jolloin hake-
puu poikkeuksetta kuivatetaan ylivuotista
puuta vastaavaksi.

Vuodenajan vaikutus tiiviyteen oli 0,006—
0,055 yksikköä ja se osoittautui tilastollisesti
merkitseväksi hakkuri- ja hakelajiryhmittäin
suoritetuissa keskiarvojen merkitsevyysero-
testeissä. Vuodenaikojen väliset erot olivat
selvät, kun oli kysymys mänty- ja koivuko-
kopuu-
hakkeesta ja hakkuutähdehakkeesta.
Todennäköisesti näin on todellisuudessa
myös leppäkokopuu-
hakkeella, jonka kesäai-
neiston haketusetilat muistuttivat talvihaketus-
oloja (TT 1000 TU -hakkuri). Kuusikoko-
puuhakkeella ja rankahakkeella ei vuoden-
ajalla ollut selvää vaikutusta tiiviyteen. Kesä-
ja talvihaketusolojen rajan määrittelemisen
on käytännössä harkinnanvaraista, koska
toisaalta sää- ja toisaalta varastointiolot vai-
kuttavat hakepuun jäätymisasteeseen. Ylei-
sesti ottaen voitane joulukuun alusta maal-
liskuun loppuun kestävästä ajasta pitää selvänä
talvikautena ja huhtikuuta lähinnä talvikau-
tena. Varsinkin pienten lämpölaitosten met-
sähakkeen käyttö keskittyy talvikauteen.



Kuva 12. Männikön ensiharvennus voidaan usein tehdä edullisimmin kokopuuhaketusmenetelmällä.
Fig. 12. The first commercial thinning of a pine stand can often be carried out most economically by the whole tree chipping system.



Kuva 13. Paras polttohake saadaan lehtipuusta. Kuivatus tapahtuu tehokkaimmin levällään palstalla tai kourakasoilla (kuvassa leppäkokopuuta).
Fig. 13. The best fuel chips are yielded by hardwoods. Drying of chipwood is carried out most economically spread out in the cutting site or in grapp heaps (in the figure: whole trees of alder).

Metsäteollisuuden metsähakkeen hankinnossa kausivaihtelut ovat pienemmät, joskin varsinkin Pohjois-Suomessa tieolot rajoittavat kesäaikaisia haketuksia.

Hakepuun järeyden vaihteluväli oli tämän tutkimuksen aineistossa pieni (2—3 cm) hakkurin ja hakelajin mukaisten ryhmien välillä. Käytännössä tietyillä hakkureilla haketetaan lähes pelkästään järeähköä puuta metsäteollisuuden raaka-aineeksi ja/tai hakkuutähdetä polttoaineeksi, kun taas tietyillä hakkureilla haketetaan pienpuuta polttoaineeksi. Näin ollen hakepuun järeyden huomioonottaminen ei ole tämän tutkimuksen tulosten perusteella mahdollista eikä se ole välttämättä tarpeenkaan metsähakkeen mittauksessa käytettäviä tiiviyslukuja määriteltäessä. Poikkeuksena on koivurankahake, jonka raaka-aineen järeys vaihtelee käytännössä 3 cm:stä (pienpuuranka) 15 cm:iin (varsinainen pinotavara). Sen tiivys osoittautui pienpuurangasta tehtynä 0,011—0,032 yksikköä korkeammaksi kuin pinotavarasta tehtynä.

Metsähakkeen kaukokuljetusmatkan vaikutusta tiivyyteen on tämän tutkimuksen tulokset huomioon ottaen ylikorostettu. Yhdeltä leimikolta ajettujen hakekuormien keskimääräisen tiivyyden ja kaukokuljetusmatkan väliset riippuvuudet osoittautuivat hakkurin ja hakelajin mukaisissa ryhmissä suoritetuissa regressioanalyysissä heikoiksi. Kaukokuljetuksen aikana tapahtuva hakkeen painuminen kohottaa luonnollisesti yksittäisen hakekuorman tiivyyttä, mutta säännöllisiä hake-toimituksia tarkasteltaessa työmaalojen ja hakepuun ominaisuuksien aiheuttama vaihtelu peittää alleen painuman aiheuttaman vaihtelun. Hakkeen painuminen oli traktorikuormissa voimakkaampaa kuin nuppiautokuormissa, sillä niiden välillä oli 0,011—0,031 yksikön tiivyysero. Täysperävaunuautokuormissa hakkeen painuminen oli vastavasti voimakkaampaa perävaunuautokuormissa kuin vetoautokuormissa, sillä niiden välillä oli 0,015—0,040 yksikön tiivyysero.

Painuman suuruus riippuu paitsi kaukokuljetusmatkasta myös hakkeen lähtötiivyydestä, hakelajista, vuodenajasta, kuljetuskalustosta, tien tasaisuudesta sekä ajonopeudesta ja tavasta. Aikaisemmat painuman mitaustulokset osoittavat, että metsähakkeen tilavuus on mitattava aina kuljetuksen jälkeen, jotta esitettyjä hakkeen tiivyslukuja voidaan käyttää tekemättä suuria systemaattisia virheitä. Sahanhakeella suurin osa painumasta tapahtuu Uusvaaran (1978) mukaan ensimmäisten

20 km:n aikana. Tämä pätee myös metsähakkeella — eritoten, kun alkumatka ajetaan yleensä kuoppaisilla sivuteillä. Hakmila ym. (1975) totesivat painuman olleen mäntykokopuuhakkeella vetoautossa 5,3 % ja perävaunussa 13,5 % ja koivukokopuuhakkeella vetoautossa 4,1 % ja perävaunussa 7,9 %. Kanninen ym. (1979) totesivat eri vuodenaikojen keskimääräisen painuman olleen vetoautossa 2,8 % ja perävaunussa 5,2 %. Painuma oli talvella alhaisempi kuin kesällä (3,2 % ja 5,3 %) hakkeen jäätymisen ja mahdollisesti sivuteiden tasaisemman pinnan (lumi ja jää) vuoksi.

TT 1000 TU -hakkurilla tehdyllä koivukokopuuhakkeella on mitattu kesällä 4,6 %:n painuma 17 km:n traktorikuljetuksessa ja koivurankahakkeella 6,5 %:n painuma 40 km:n traktorikuljetuksessa (Hovila 1981). TT 1000 TS -hakkurilla tehdyllä mäntykokopuuhakkeella on mitattu kesällä 3,2 %:n painuma 70 km:n nuppiautokuljetuksessa (Hovila 1981), koivukokopuuhakkeella 6,1 %:n ja 7,4 %:n painuma vetoautossa ja perävaunussa yli 100 km täysperävaunuautokuljetuksessa (Hovila 1981) ja leppäkokopuuhakkeesta 1,4 %:n painuma 17 km:n nuppiautokuljetuksessa (Kanninen 1980). Uusvaara (1984) totesi Erjo 120-HV-900 -rumpuhakkurilla tehdyn leppäkokopuuhakkeen painuman olleen talvella 2,9 %. Rantamaula (1981) mittasi HS-500 HD -hakkurilla tehdyn hakkuutähdehakkeen painumaksi talvella 4,9 % 30 km:n traktorikuljetuksessa.

Selittämättä jäänyt tiivyyden vaihtelu oli koko aineistossa sekä hakkurin ja hakelajin perusteella muodostetuissa ryhmissä melkoinen, 41,8 % ja 16,5—65,3 %. Tämä johtui ainakin sivupuulajien osuuden vaihtelusta paitsi leimikoiden myös yhden leimikon hakekuormien välillä sekä kuormantekotapojen vaihtelusta paikkakuntien välillä (TT 1000 TU- ja TS -hakkurit). Mahdolliset virheet hakekuormien tilavuuden mittauksessa (TT 1000 TU- ja TS -hakkurit) sekä hakepuun kuiva-tuoretiheyden arvioinnissa ovat myös saattaneet aiheuttaa selittämättä jäänyttä tiivyyden vaihtelua. Eri virhelähteiden vaikutus yksittäisen hakekuorman tiivyyteen olisi ollut seuraava:

- 10 cm:n virhe kuorman korkeudessa → 0,016—0,025 yksikön virhe tiivyydessä
- 10 kg/m³:n virhe hakepuun kuiva-tuoretiheydessä → 0,008—0,016 yksikön virhe tiivyydessä
- 10 %-yksikön virhe koivu-mänty- tai koivu-leppäsekapuuleimikon puulajisuhteessa → 0,007—0,011 yksikön virhe tiivyydessä



Kuva 14. TT 1000 TU on johtava hakkurimalli Suomen lämpölaitosten hakkeen hankinnassa.
Fig. 14. The TT 1000 TU is the leading chipper mark in procurement of chips to Finnish heating plants.



Kuva 15. TT 1500 LP -laikkahakkuri metsäteollisuuden raaka-aineeksi tarkoitetun hakkeen valmistukseen.
Fig. 15. The TT 1500 LP disc chipper for conversion of chips to raw material for the forest industry.

Leimikkotasolla kuorman korkeudessa ja puulajisuhteissa esiintyvät virheet pienenevät, mutta kuiva-tuoretiheyden arviointivirheet säilyvät systemaattisina. Ne voivat säilyä systemaattisina siirryttäessä edelleen hakkuri-hakelajitasolle. Hakuutähdehakkeen kuiva-tuoretiheys vaihtelee erityisen paljon, jopa 50 kg/m^3 . Se on melko puutteellisesti selvitetty, joten tiiviystuloksiin on suhtauduttava varauksella. Sama koskee lievemässä määrin osapuuhaketta, jota oli mukana TT 1500 LP -hakkurin kuusi- ja koivukokopuuhakeaineistoissa.

Tiiviystulokset olivat huomattavan korkeita aikaisempiin käsityksiin ja tutkimustuloksiin verrattuna. Erot Kannisen ym. (1979) eri hakkureilla tehdyn hakkeen keskimääräisiin tiiviyksiin verrattuna olivat hakkurista riippuen mäntykokopuuhakkeella $-0,006$ — $+0,087$ yksikköä, koivukokopuuhakkeella $+0,021$ — $+0,100$ yksikköä ja leppäkokopuuhakkeella $-0,043$ — $+0,087$ yksikköä. Metsolan (1983) hakkurikohtaisiin tuloksiin verrattuna erot olivat $+0,024$ — $+0,075$ yksikköä ja Uusvaaran (1984) hakkurikohtaisiin tuloksiin verrattuna $+0,039$ — $+0,054$ yksikköä. Erityisesti ylivuotisesta puusta tehdyn leppäkokopuuhakkeen tiiviyys, $0,48$ — $0,56$, oli tässä tutkimuksessa korkea.

Lokomo MS9 -murskaimella tehdyn tuoreen ja ylivuotisen hakuutähdehakkeen tiiviydeksi on eri yhteyksissä esitetty $0,405$ ja $0,34$ — $0,39$ (Kuitto 1983, Metsola 1983, Vehmas ym. 1983). Metsola (1983) on laskenut Algol-hakkurilla tehdyn ylivuotisen hakuutähdehakkeen tiiviydeksi $0,36$ — $0,41$. Eräillä ruotsalaisilla murskaimilla ja rumpuhakkureilla tehdyn tuoreen hakuutähdehakkeen tiiviyys on ollut $0,32$ — $0,38$ ja $0,39$ — $0,48$ (Vehmas ym. 1983). Tulosten suuri vaihtelu viittaa paitsi todelliseen tiiviyden vaihteluun myös jo edellä todettuun epävarmuuteen hakuutähdehakkeen tiiviyden laskennassa.

Tarkkoja vertailuja vaikeuttavat puutteelliset tiedot aikaisempien tutkimusten aineiston laadusta sekä osittain myös erilaiset hakepuun kuiva-tuoretiheyden arviointiperusteet (ylivuotista puuta ei liene pidetty erillään tuoreesta puusta aikaisemmissa tutkimuksissa).

Hakkeen odotettua korkeampi tiiviyys selittää suuren osan usein ihmetellystä hakepuukasojen "kutistumisesta", kun on verrattu niiden pinomittaustuloksia toimituspäikällä tehtävän irtotilavuusmittauksen tulok-

siin. Toinen tekijä, joka voi selittää mittaustulosten eroja, on haketus- ja kaukokuljetushävikki, jonka suuruudeksi Pietilä (1984) on mitannut tuoreella kokopuuhakkeella 1 — 2 %. Pietilä (1984) esittää myös, että eräissä aikaisemmissa kokeissa (Hakkila ym. 1975, Kanninen ym. 1979) haketushävikki on ollut 2 — 6 %, mutta hakepuun ominaisuuksista ja työmaaoloista ei ole ollut tarpeeksi tietoa.

Taulukoissa 4 (s. 13) ja 5 (s. 14) esitettyjen hakkuri- ja hakelajikohtaisten tiiviyksien perusteella ehdotetaan eri hakkurityypeille ja hakelajeille sovellettavaksi taulukon 14 mukaisia keskimääräisiä tiiviyyslukuja.

Tiiviyyslukuosuutuksissa on oletettu, että kukin hakelaji sisältää pääpuulajin ohella noin 10 % sivupuulajeja. Lisäksi on oletettu, että ainespuuta sisältävästä puusta tehdystä hakkeesta on noin puolet tuoreesta ja noin puolet ylivuotisesta puusta tehtyä. Pienpuusta tehty hake on oletettu kokonaan ylivuotisesta puusta tehdyksi.

Muiden kuin tässä tutkimuksessa tutkittujen hakkureiden osalta on kuitenkin noudatettava tiettyä varovaisuutta tiiviyyslukuja sovellettaessa. Hakkeen puhallusvoiman arviointi hakkeen kuormausten menetelmän perusteella on melko pitkälle menevä yleistys, sillä hakkeen puhallusvoima riippuu ilmeisesti myös hakkurin teräpyörän pyörimisnopeudesta, laikka- tai rumpukammion tilavuudesta, erillisen puhaltimen käytöstä sekä haketorven pituudesta ja muodosta.

Käytännössä metsähake luokitellaan puukaupan ja vastaanoton yhteydessä yleensä vain havu- ja lehtipuuhakkeeksi. Tiiviyslukuosuutusten soveltamisessa saattaa tällöin syntyä vaikeuksia mänty- ja kuusihakkeen välisten ja koivu- ja leppähakkeen välisten tiiviyserojen vuoksi.

Metsähakkeen tiiviytenä on tähän asti käytetty yleisesti $0,40$. Tässä tutkimuksessa huomattavasti korkeammaksi todetut tiiviydet merkitsevät sitä, että metsähakkeen irtotilavuusyksikkö sisältää enemmän jalostettavaa tai poltettavaa biomassaa kuin tähän asti on tiedetty. Tämä olisi otettava huomioon, kun

- hinnoitellaan metsähaketta
- tehdään metsähakkeen ja kilpailvien polttoaineiden välisiä kustannusvertailuja
- sovitaan välivarastohaketuksen ja metsähakkeen autokuljetuksen yksikkömaksuista.

Taulukko 14. Metsähakkeen tiiviyslukuosuositukset hakkurityypeittäin ja hakelajeittain eri vuodenaikoina. Ainespuuta sisältävästä puusta tehtyä haketta koskevat tiiviysluvut on vahvennettu.

Table 14. Recommendations on solid content of forest chips by type of chipper and kind of chips in various seasons. The solid content values concerning chips made of wood containing commercial pulpwood has been strengthened.

Hakkurityyppi Chipper type	Vuodenaika Season	Kokopuuhaake — Whole tree chips				Rankahake Tree length chips			Hakkuutähdehaake Slash chips	
		Mänty Pine	Kuusi Spruce	Koivu Birch	Leppä Alder	Mänty Pine	Koivu Birch	Leppä Alder	Vihreä Green	Ruskea Brown
Tiiviysluku, m ³ /i-m ³ — Solid content value, m ³ solid/m ³ loose										
Laikkahakkuri, takaa puhaltava Disc chipper, blow from the back of the load	Kesä — Summer	0,47	0,44	0,44	—	—	0,44	—	—	—
	Talvi — Winter	0,50	0,44	0,46	—	—	0,44	—	—	—
Laikkahakkuri, päältä puhaltava Disc chipper, blow from the top of the load	Kesä — Summer	0,48	0,44	0,45	0,54	0,49	0,43	0,56	—	—
	Talvi — Winter	0,49	0,44	0,50	0,54	0,50	0,43	0,56	—	—
Laikkahakkuri, kippaava Disc chipper, tip-up	Kesä — Summer	0,45	0,39	0,38	0,48	0,41	0,46	—	—	—
	Talvi — Winter	0,48	0,39	0,43	0,48	0,42	0,46	—	—	—
Rumpuhakkuri, takaa puhaltava Drum chipper, blow from the back of the load	Kesä — Summer	0,46	—	0,43	—	—	0,43	—	0,36	—
	Talvi — Winter	0,49	—	0,44	—	—	0,44	—	0,38	—
Rumpuhakkuri, päältä puhaltava Drum chipper, blow from the top of the load	Kesä — Summer	0,41	—	0,40	0,52	—	—	—	—	—
	Talvi — Winter	0,44	—	0,42	0,53	—	—	—	—	—
Rumpuhakkuri, kippaava Drum chipper, tip-up	Kesä — Summer	0,38	—	—	—	—	—	—	—	—
	Talvi — Winter	0,40	—	—	—	—	—	—	—	—
Murskain, hihnakuljetin Crush, belt conveyer	Kesä — Summer	—	—	—	—	—	—	—	0,39	0,39
	Talvi — Winter	—	—	—	—	—	—	—	0,39	0,39

42. Metsähakkeen muut tekniset ominaisuudet

Metsähakkeen tuore- ja kuivamassatulokset (taulukot 6—9) noudattivat tasoltaan ja vaihtelultaan samoja periaatteita kuin tiiviyslulukset. Eri tekijöiden vaikutus hakkeen kuivamassaan oli seuraavaa suuruusluokkaa:

- hakkuri 5—53 kg/m³ (2,4—24,5 %)
- hakelaji 5—47 kg/m³ (2,9—25,6 %)

- vuodenaika 12—27 kg/m³ (6,8—15,0 %)
- kuivatusaika 1—6 kg/m³ (0,5—12,0 %)
- traktori/nupppiauto 3—12 kg/m³ (1,7—7,3 %)
- vetoauto/perävaunu 2—14 kg/m³ (0,8—7,0 %)

Koska tuore- ja kuivamassan määrityksessä ei tarvittu laskennallisia keinoja, niiden tarkkuutta voidaan pitää hyvänä. Kuivamassaerot Kannisen ym. (1979) hakkurien keskimääräisiin tuloksiin olivat mäntykokopuuhaakkeella —6 — +25 kg/i-m³ ja koivukokopuuhaakkeella —1 — +25 kg/i-m³ hak-

kurista riippuen, Metsolan (1983) tuloksiin verrattuna $+4 - +27 \text{ kg/i-m}^3$. Uusvaaran (1984) mitaamat TT 1000 TS ja Erjo -hakkureiden kuivamassat eivät eronneet tässä tutkimuksessa mitatuista. Hovilan (1981) TT 1000 TU- ja TS -hakkureiden kokopuu- ja rankahakkeen mittaustuloksiin verrattuna kuivamassat olivat $16 - 20 \text{ kg/i-m}^3$ korkeammat — mäntykokopuuhaaketta lukuun ottamatta (16 kg/i-m^3 alhaisemmat). Kanninen (1980) on mitannut TT 1000 TS -hakkurilla tehdyn leppäkokopuuhaakkeen kuivamassan 32 kg/i-m^3 korkeammaksi kuin tässä tutkimuksessa mitattiin. Kalajan ja Rantamaulan (1982) Junkkari HJ30 -hakkurilla tehdystä koivukokopuu- ja rankahakkeesta mitaamat kuivamassat olivat $15 - 16 \text{ kg/i-m}^3$ alhaisemmat kuin tässä tutkimuksessa TT 1000 TU -hakkurilla tehdystä hakkeesta mitatut kuivamassat (hakkurit vastaavat suurin piirtein toisiaan toimintaperiaatteen ja hakkeen kuoromausmenetelmän puolesta). Pienestä lehtipuuvesakosta tehdyn kokopuuhaakkeen kuivamassa oli tässä tutkimuksessa 149 kg/i-m^3 (hakkurina Lokomo MS9), kun se Hakkilan ja Mäkelän (1975) tutkimuksessa oli niinkin alhainen kuin 121 kg/i-m^3 (hakkurina Pallarin vesakkoharvesteri).

Tuoreen hakkuutähdehakkeen kuivamassat olivat melkein samat kuin aikaisemmissa tutkimuksissa mitatut. Metsolan (1983) ja Vehmaksen ym. (1983) esittämiin tuloksiin verrattuna erot olivat -3 kg/i-m^3 rumpuhakkurilla ja $+1 - +4 \text{ kg/i-m}^3$ murskaimella tehtynä. Murskaimella tehdyn ylivuotisen hakkuutähdehakkeen kuivamassa oli $4 - 11 \text{ kg/i-m}^3$ korkeampi kuin Kuiton (1983) ja Vehmaksen ym. (1983) tutkimuksissa. Metsola (1983) on mitannut Algol-rumpuhakkurilla tehdyn ylivuotisen hakkuutähdehakkeen kuivamassaksi $164 - 185 \text{ kg/i-m}^3$, mikä tulos eroaa vain vähän vastaavan murskaimella tehdyn hakkeen kuivamassasta. Rantamaula (1981) on mitannut samantyyppisen hakkeen kuivamassaksi 194 kg/i-m^3 ja 209 kg/i-m^3 , kun haketus suoritettiin keveilä HS-500 HD -rumpuhakkurilla ja Hakkilaikkahakkurilla. Korostettakoon, että kuivamassatulokset ovat huomattavasti luotettavampia kuin tiivistysluokset erityisesti hakkuutähdehakkeella. Irtotilavuusyksikön sisältämän biomassan kuiva-aineen määrää voidaankin pitää parempana perusteena hakkuutähdehakkeen määrän ja arvon mittaamiseksi kuin irtotilavuusyksikön sisältämän puun tilavuutta — sekä hakkuutähdehakkeen

mittauksen muuntolukujen luotettavuuden että biomassan koostumuksen vuoksi.

Hakkeen ja nimenomaan polttohakkeen kosteutta on aikaisemmin tutkittu varsin runsaasti, joten siihen ei tässä tutkimuksessa kiinnitetty paljoakaan huomiota. Hakelajitaisia kosteustuloksia kesä- ja talvioloissa (taulukko 10, s. 19) voidaan pitää vain keskimääräisinä tuloksina. Kosteuden ja siihen vaikuttavien tekijöiden riippuvuussuhteita ei pyritty tietoisesti selvittämään. Tulokset olivat joka tapauksessa hyvin odotusten mukaisia:

- hakkuutähdehake oli kosteampaa kuin kokopuuhake, ja kokopuuhake oli kosteampaa kuin rankahake
- talvella tehty kokopuu- ja hakkuutähdehake oli kosteampaa kuin kesällä tehty, rankahake yleensä ei
- tuoreesta puusta tehty hake oli kosteampaa kuin ylivuotisesta puusta tehty hake, varsinkin kesällä
- syyskaatoisen hakepuun kaatokuukausi vaikutti hakkeen kosteuteen silloin, kun haketus tapahtui seuraavana talvena
- hakkureiden välillä ilmeni talvella systemaattisia eroja
- kuorma- ja leimikkokohtaisten kosteustulosten vaihtelu oli huomattava saman hakelajin sisällä

Huomionarvoista on, että kaikkien hakelajien keskikosteus oli tuoreesta puusta tehtynä sekä kesällä että talvella korkeampi kuin usein esitetty tavoitearvo 40 %. Ylivuotisesta puusta tehtynä vain hakkuutähde- ja mäntykokopuuhaakkeen keskikosteudet ylittivät tavoitearvon.

Metsähakkeen palakoon mittaukseen on yritetty käyttää useita erityyppisiä seulontamenetelmiä. Williams-reikäseulonta on alunperin mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteena syntyvän hakkeen pituusjakauman määrittämiseen tarkoitettu, standardisoitu seulontamenetelmä. Sittemmin menetelmää on sovellettu myös metsähakkeen palakoon mittaukseen. Saadut hakkeen pituusjakaumat on todettu aina jossain määrin virheelliseksi, sillä suurten jakeiden osuudet tulevat aliarvioituiksi ja pienten jakeiden osuudet yliarvioituiksi (Mäkelä 1977b, Kanninen ym. 1979). Erityisesti haketuksessa pitkänomaisiksi jäävät rungon ulkoiset oksat seuloutuvat todellista pienempiin jakesiin. Tämän vuoksi virhe seulontatuloksessa on suurin hakkuutähdehakkeella ja pienin ranka- ja kuitupuuhaakkeella. Muiden seulontamenetelmästä johtuvien virhelähteiden osalta viitataan Saukkoseen (1971).

Hakkeen pituusjakaumalla on merkitystä lähinnä polttoaineena käytön kannalta, koska ylisuuret oksat ja tikut aiheuttavat toimin-

tahäiriöitä lämpölaitosten syöttö- ja kuljetinlaitteilla ja ne holvaavat haketta varastosiiloissa ja kattiloissa (Kalaja 1984). Hakkeen kriittiset palakokorajat riippuvat hyvin paljon lämpölaitoksen teknisistä ratkaisuista. Pienimmissä lämpölaitoksissa vaatimukset ovat ankarimmat. Esim. Rakennushallitus on käyttänyt alaistensa 0,5—2,0 MW:n lämpölaitosten suunnitteluperusteena hakkeen palakokovaatimusta 9—50 mm (0,5—2,0 MW:n...1982), kun taas Kajaani Oy:n 15,0 MW:n lämpölaitos on suunniteltu jopa 150 mm pituisia haketta käyttäväksi (Jämsén 1983). Eräissä laitoksissa, joissa oksat ja tikut eivät ole ongelma hakkeen syöttö- ja kuljetinlaitteilla, hienojaetta pidetään karkeajaetta haitallisempana jakeena hakkeen polton taloudellisuus huomioon ottaen.

Williams-rakoseulonnalla määritetään hakkeen paksuusjakauma, josta saatava kuva on todenmukaisempi kuin reikäseulonnalla pituusjakaumasta saatava kuva (Mäkelä 1977b, Kanninen ym. 1979). Lönnbergin (1986) mukaan hakkeen paksaus ei saisi sellun saannon kannalta ylittää 7 mm:ä, joskin käytännössä rajana pidetään 8 mm. Hakkeen optimipaksuus on todettu 3 mm:ksi sekä sellun saannon että lujuuden kannalta (Laanti 1961, Borlew ja Miller 1970). Hakkeen minimipaksuutena pidetään 2 mm (Mäkelä 1977b). Hakkeen pituusjakaumalla lienee sellun keitossa merkitystä ainoastaan sen vuoksi, että se korreloi paksuusjakauman kanssa (Mäkelä 1977b, Kanninen ym. 1979), joskin on olemassa epäilyksiä tämän korrelaation yleistettävyydestä (Wahlman 1967). Lastulevyteollisuudessa hakkeelta edellytetään mahdollisimman suurta palakokoa, jotta lastutus onnistuisi hyvin.

Todettakoon, että pituusjakauma kuvaa metsähakkeen laatua selluteollisuuden raaka-aineena myös palakokoluokkien biomassakoostumuksen kannalta. Kanninen ym. (1979) mukaan kokopuuhakkeen kuoripitoisuus on alle 13 mm pituusluokassa selvästi korkeampi ja useimmissa tapauksissa yli 32 mm pituusluokassa hieman korkeampi kuin muissa pituusluokissa. Viherainepitoisuus oli puolestaan selvästi korkein alle 6 mm pituusluokissa. Palakoko- ja biomassakoostumus huomioon ottaen metsähakkeen hyväksyttävänä pituusseulontajakeina on pidetty 6 — 32 mm jakeita — ilmeisesti osaksi sahanhakkeen laatuvaatimusten perusteella (vrt. Uusvaara ja Heiskanen 1975).

Tässä tutkimuksessa käytettiin metsähak-

keen hyväksyttävänä pituusjakeina Williamsseulonnan 13 — 32 mm pituusluokkia. Tehdessä vertailevia koeseulontoja Wennbergmenetelmällä ilmeni, että näiden jakeiden määrään olisi pitänyt lisätä tietty hakelajista, vuodenajasta ja hakkurista riippunut osuus 6 — 13 mm jakeiden määrästä, edellyttäen, että Wennbergmenetelmällä saatava kuva hakkeen laadusta on totuudenmukainen. Tämä osuus oli sitä suurempi mitä homogeenisempaa ja hyvälaatuisempaa hake oli (vaihtelurajat 6 — 69 %). Kuusi- ja koivukokopuuhaakkeella ero oli talvella selvästi korkeampi kuin kesällä (65 — 79 % ja 6 — 26 %). Päinvastainen ero mäntykokopuuhaakkeella johtui erilaisista hakkureista (kesällä laikkahakkuri, talvella kartiorumpuhakkuri).

Metsähakkeen pituusjakaumatulokset osoittivat hyväksytyin hakkeen osuuden riippuneen useista samanaikaisesti vaikuttaneista tekijöistä, joista tärkeimmät olivat hakkuri, hakelaji, hakepuun järeys ja kuivatusaika sekä vuodenaika (eräissä tapauksissa jopa tärkein tekijä).

Laikkahakkureilla tehty hake sisälsi odotetusti enemmän hyväksytyjä jakeita kuin muilla hakkureilla tehty hake. Ero oli tuoreesta, järeähköstä kokopuusta tehdyllä mäntyhaakkeella 11 — 13 %-yksikköä ja koivuhaakkeella 0 — 5 %-yksikköä, kun haketus suoritettiin kesällä. Erot olivat pienemmät talviaikaisessa ja ylivuotisen puun haketuksessa. Laikkahakkureiden paremmuus muihin hakkureihin nähden oli ilmeinen myös pienempää puuta hakettaessa. On korostettava, että hakkurien välisiä jakaumia ei voi vertailla tuntematta hakepuun ja hakkurin ominaisuuksia. Hakkurin ominaisuuksista vaikuttavat hakkeen palakokoon liitteessä 1 esitettyjen lisäksi mm. terien ja vastaterien kunto sekä hakepuun syöttönopeuden ja hakkurin pyörimisnopeuden suhde toisiinsa.

Karsitusta rangasta tai kuitupuusta tehty hake sisälsi enemmän hyväksytyjä jakeita kuin kokopuuhaake ja kokopuuhaake selvästi enemmän kuin hakkuutähdehaake. Eri puulajeista tehtyjen kokopuuhaakelajien paremmuusjärjestys oli leppä, koivu, mänty ja kuusi. Tuoreesta, järeähköstä puusta kesällä tehdyistä kokopuuhaakelajeista ainoastaan kuusi erosi oleellisesti muista puulajeista. Ylivuotilla ja pienehköllä puulla erot olivat selvemmät, erityisesti lehtikokopuuhaakkeen ja havukokopuuhaakkeen välillä.

Metsähakkeen käytön kannalta haitallisten äärijakeiden osuus vaihteli luonnollisesti

kääntäen hyväksytyjen jakeiden osuuden kanssa. Hyväksytyin hakkeen osuuden pienentyessä kapuloiden ja karkean jakeen osuus pieniä mutta suhteellisesti vähemmän kuin hienojakeen osuus kasvoi. Lämpölaitosten toiminnan kannalta haitallisten kapuloiden (>45 mm jae) osuus oli mäntykokopuu-hakkeella 1 — 4 % pienestä puusta tehtynä ja alle 1,5 % järeähköstä puusta tehtynä. Koivukokopuu-hakkeella vastaavat luvut olivat 3 — 4 % ja 1 — 3 % ja leppäkokopuu-hakkeella 5 — 6 % ja 4 — 5 %. Koivuranka- ja koivukuitupuuhakkeen korkeat kapulapitoisuudet (5 — 10 % ja 2 — 6 %) jopa enimmäkseen oksista tehtyyn hakkuutähdehakkeeseen (2 — 8 %) verrattuna johtuivat paremmin todellisuutta vastaavista seulontatuloksista (säännöllisen muotoiset hakepalat eivät seuloudu yhtä helposti liian pieniin pituusjakeisiin kuin pitkänomaiset hakepalat).

Metsäteollisuusprosessien kannalta haitallisia alle 6 mm jakeita oli erityisen paljon hakkuutähdehakkeessa (25 — 43 %). Havukokopuu-hake sisälsi talvella näitä jakeita keskimääräistä enemmän (13 — 25 %), mutta kesällä keskimääräistä vähemmän (8 — 22 %), kun kysymys oli järeähköstä, ainespuuta sisältävästä puusta tehdystä hakkeesta. Laikka- ja rumpuhakkureiden ero oli selvä ensimmäiseksi mainitun hyväksi (kesällä 8 %, talvella 16 — 19 %). Mäntykokopuu-hake sisälsi talvella vähemmän hienojakeita kartiorumpuhakkurilla tehtynä (13 %) kuin laikkahakkurilla tehtynä (22 %). Koivukokopuu-hakkeessa hienojakeita oli kesällä 7 — 10 % ja talvella 11 — 20 %. Kesällä tehty leppäkopuu-hake sisälsi yllättäen vain suunnilleen saman verran hienojakeita kuin koivukuitupuuhake (3 % ja 2 — 6 %). Kokopuu-hakkeessa hienojakeita oli pienpuusta tehtynä vain 1 — 3 %-yksikköä enemmän kuin järeähköstä puusta tehtynä. Hakepuun karsiminen alensi hienojakeiden osuutta männyllä 12 — 19 %-yksikköä, koivulla ja leppällä vain 0 — 1 %-yksikköä, kun hake tehtiin ylivuotisesta pienpuusta.

Metsähakkeen suuntaa antavista paksuusjakaumatuloksista ilmeni, että laikkahakkurilla tehty hake oli tälläkin perusteella arvosteltuna parempaa kuin muilla hakkureilla tehty hake. Muista hakkureista kaksiteräiset rumpuhakkurit tekivät parempaa haketta kuin moniteräiset rumpuhakkurit ja murskaimet. Hakelajeittain tarkasteltuna erot olivat samansuuntaiset kuin pituusjakaumaerot. Kokopuu-hakelajeista leppähake oli selvästi

parasta haketta silloin kun se tehtiin ainespuuta sisältävästä puusta mutta vielä selvemmin huonointa haketta silloin kun se tehtiin ainespuuta pienemmästä puusta. Koivuhake oli selvästi parempaa kuin mäntyhake, ja tämä puolestaan oli selvästi parempaa kuin kuusihake. Lisäksi hyväksytyjen jakeiden osuus oli suurempi ainespuuta sisältävästä kuin sitä pienemmästä puusta tehdyssä hakkeessa.

Sen sijaan talvella tehty hake osoittautui paksuusjakauman perusteella (eräitä koivukokopuu-hake-eriä lukuun ottamatta) paremmaksi kuin kesällä tehty hake. Samoin ylivuotisesta puusta tehty hake osoittautui koivukokopuu-haketta lukuun ottamatta paremmaksi kuin tuoreesta puusta tehty hake. Vuodenajan ja hakepuun kuivatusasteen vaikutukset hakkeen paksuus- ja pituusjakaumaan olivat siis erisuuntaiset.

Metsähakkeen irtotilavuusyksikköä kohti lasketut teholliset lämpöarvot (MJ/i-m³) (taulukot 12 ja 13) olivat kauttaaltaan odottamattoman korkeat. Tulokset johtuivat hakkeen korkeasta tiiviyydestä. Lasketut tiivyydelliset arvot eivät ole kuitenkaan vaikuttaneet esitettyjen tehollisten lämpöarvojen laskentaan. (vrt. luku 11). Hakkureiden aiheuttamat tiivyyserot näkyivät hakelajikohtaisissa lämpöarvotuloksissa. Systemaattiset erot eri hakkureilla haketettun puun koossa ja eräissä tapauksissa vaikeudet tuoreen ja ylivuotisen puun rajan asettamisessa vaikeuttivat vertailuja.

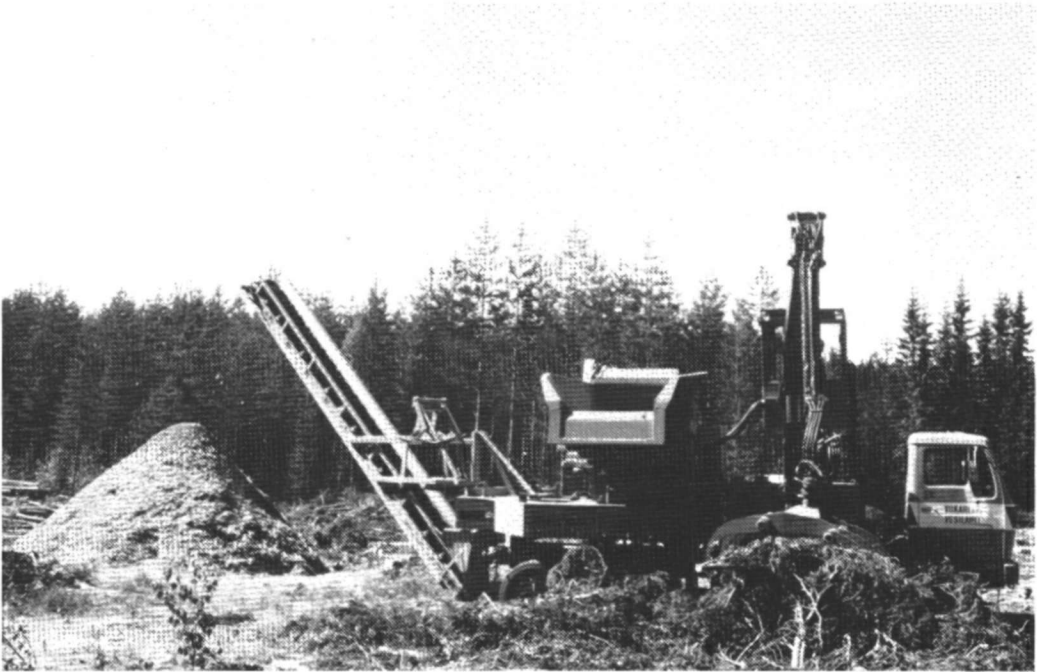
Vertailu hakelajien välillä osoitti rankahakkeen lämpöarvon olleen saman puulajin kokopuu-hakkeen lämpöarvoa korkeamman, varsinkin jos se tehtiin normaalin kuitupuun kokoisesta puusta. Puulajien lämpöarvon mukaisessa paremmuusjärjestyksessä ilmeni eroja puun järeydestä ja kuivatusajasta riippuen:

- tuoreesta, järeähköstä puusta tehty hake: koivu > mänty > kuusi > leppä
- ylivuotisesta järeähköstä puusta tehty hake: koivu > kuusi > mänty
- ylivuotisesta pienpuusta tehty hake: koivu > leppä > mänty > kuusi

Koivuhakkeen lämpöarvo oli odotetusti paras. Leppähakkeen yllättävän hyvä lämpöarvo ylivuotisesta puusta tehtynä johtui erittäin korkeasta tiiviyydestä. Samasta syystä kuusihakkeen lämpöarvo oli mäntyhaketta parempi, silloin kun se tehtiin ylivuotisesta, järeähköstä puusta.



Kuva 16. Hakuutähdekasoja avohakkuualalla koneellisen kasauksen jäljiltä. Kuva: Hannu Kalaja.
Fig. 16. Slash piles on a clear-cutting area after mechanized bunching. Photo: Hannu Kalaja.



Kuva 17. Hakuutähdeiden haketusta Lokomo MS9 -murskaimella. Kuva: Hannu Kalaja.
Fig. 17. Chipping of slash with a Lokomo MS9 -crush. Photo: Hannu Kalaja.

Pienpuuhakkeen lämpöarvo oli ylivuotisesta puusta tehtynä 4 — 15 % korkeampi kuin tuoreesta puusta tehtynä. Järeähköstä puusta tehdyllä hakkeella ero oli kesällä 12 — 21 %. Talvella tämänsuuntaista eroa ilmeni vain kuusella. Tämä lienee johtunut talvien haketusolojen (lumi ja sen jäätyminen hakepuuhun) ylivuotisesta ja tuoreesta puusta tehdyn hakkeen kosteuseroja pienentävästä vaikutuksesta.

Vuodenajan vaikutus hakkeen lämpöarvoon riippui hakelajista ja hakepuun kuivatusajasta, mahdollisesti myös hakkurista. Tuoreesta puusta tehdyn hakkeen lämpöarvo oli talvella parempi kuin kesällä korkeamman tiivyyden ansiosta, vaikka kosteus oli suurempi. Sama ilmiö koski pääosin ylivuotisesta pienpuusta tehtyä haketta. Poikkeavat tulokset koivurankahakkeen kohdalla johtuvat ilmeisesti talvikoe-erien lämpöarvoa huonontaneesta sekapuusta (haapa, leppä). Järeähköstä kokopuusta ja hakkuutähhteestä tehdyn hakkeen lämpöarvo taas oli ylivuotisesta puusta tehtynä selvästi korkeampi kesällä kuin talvella. Suuremman kosteuden lämpöarvoa huonontava vaikutus oli tällöin siis suurempi kuin korkeamman tiivyyden lämpöarvoa parantava vaikutus. Hakkila (1984) on laskenut kokopuuhakkeen teholliset lämpöarvot keskimääräisten tiivyslukujen (mänty 0,43, koivu 0,39, leppä 0,46) ja kuivaa puukiloa kohti laskettujen tehollisten lämpö-

arvojen avulla. Tässä tutkimuksessa lasketut hakkurikohtaiset lämpöarvot erosivat huomattavasti näistä keskiarvoluvuista ja olivat pääsääntöisesti korkeammat

— tuoreesta puusta tehty hake:

- kesällä systemaattisesti korkeammat, varsinkin männyllä (erot +30 — +280 MJ/i-m³)
- talvella vaihtelua esiintyi molempiin suuntiin hakkurista riippuen (erot -390 — +640 MJ/i-m³)

— ylivuotisesta puusta tehty hake:

- kesällä yleensä korkeammat (erot -290 — +610 MJ/i-m³)
- talvella systemaattisesti korkeammat (erot +2 — +560 MJ/i-m³)

Hakkuutähdehakkeen lämpöarvot olivat tässä tutkimuksessa selvästi kokopuuhakkeen lämpöarvoja alhaisemmat ja yleensä alle 3000 MJ/i-m³. Lokomo MS -murskaimella tehdyn hakkuutähdehakkeen lämpöarvo oli hieman korkeampi kuin TT 910R -rumpuhakkurilla tehdyn hakkeen, vaikka kuormausmenetelmän perusteella päinvastainen tulos olisi ollut ilmeinen. Vehmas ym. (1983) ovat esittäneet hakkuutähdehakkeen keskimääräiseksi lämpöarvoksi käyttötilassa 2990 MJ/i-m³ Algol-rumpuhakkurilla ja 2860 MJ/i-m³ Lokomo MS9 -murskaimella tehtynä. Nämä luvut perustuivat hakekuormien kuivamassa (kg/i-m³) mittaukseen ja hakkeen tehollisen lämpöarvon laboratoriomääritykseen.

5. YHTEENVETO

Metsähake mitataan Suomessa yleensä irtotilavuutena toimituspaikalla. Metsähakkeen hinnoittelua, haketus- ja hakkeen kaukokuljetusmaksujen määrittystä ja eri polttoaineiden kustannusvertailuja varten tarvitaan tietoa irtotilavuusyksikön sisältämästä kiintotilavuudesta. Muuntokertoimena käytetään hakkeen tiivyslukua (m³/i-m³). Kaikenlaisen metsähakkeen mittauksessa on yleisesti käytetty tiivyslukua 0,40. Tämä on kuitenkin aivan liian epätarkka antaakseen edes kutakuinkin oikean kuvan hakkeen irtotilavuusyksikön sisältämästä poltto- tai raakaainemäärästä.

Tässä tutkimuksessa selvitellään metsä-

hakkeen tiivyyteen vaikuttavia tekijöitä ja esitetään käytännölliset suositukset metsähakkeen irtotilavuusmittaukseen soveltuvista tiivysluvuista. Lisäksi tutkitaan muita tärkeimpiä metsähakkeen mittaus- ja käyttöteknisiä ominaisuuksia (tuore- ja kuivamassa, kosteus, palakoko, tehollinen lämpöarvo).

Tutkimusaineisto käsittää kaikkiaan 879 metsähakekuormaa. Kuormat punnittiin ja niiden irtotilavuudet mitattiin hakkeen toimituspaikalla. Joka kuormasta otettiin kosteusnäyte. Osasta kuormia otettiin palakokoym. näytteitä. Kunkin hakekuorman tiiviyys laskettiin jakamalla kuivamassa, kg/i-m³,

hakkeen laskennallisella kuiva-tuoretiheydellä, mihin perusteet saatiin Metsäntutkimuslaitoksen aikaisemmista tutkimuksista.

Metsähakkeen tiiviyys riippuu ennen kaikkea hakkurista ja hakelajista (puu- ja puutavaralaji). Nämä tekijät selittivät 49,1 % tiiviiden vaihtelusta. Muiden vaikuttavien tekijöiden sisällyttäminen tiiviiden vaihtelumalleihin paransi selitysasetta yhteensä 5,4 %-yksikköä. Hakkeen kosteus osoittautui yllättäen merkittäväksi tiiviiden vaihtelun selittäjäksi. Tämä selittyi lähinnä ylivuotisen (kuivan) ja tuoreen (kosteaa) hakkeen erilaisella tiiviydellä.

Yksittäisten tekijöiden vaikutus metsähakkeen tiiviyteen oli seuraavaa suuruusluokkaa, kun muut vaikuttavat tekijät olivat suunnilleen vakioita:

	Vaikutus tiiviyteen, yksikköä
Hakkuri	0,011—0,100
Hakelaji	0,015—0,136
Hakepuun kuivatusaika	0,003—0,066
Haketusvuodenaika	0,006—0,055
Hakepuun järeys	0,011—0,032 (koivurankahake)
Kuljetuskalusto	
— traktori/nuppiauto	0,011—0,031
— vetoauto/perävaunu	0,015—0,040

Hakkurin vaikutus tiiviyteen johtui eroista hakkeen kuorhausmenetelmässä (puhallusvoimassa ja hakkurin toimintaperiaatteessa, hakkeen palakoossa). Hakelajin vaikutus tiiviyteen koostuu puulajin vaikutuksesta ja puutavaralajin vaikutuksesta. Ylivuotisesta puusta tehty hake oli tiiviimpää kuin tuoreesta puusta tehty hake ja talvella tehty hake oli tiiviimpää kuin kesällä tehty hake. Pienpuurangasta tehty hake oli tiiviimpää kuin kuitupuusta tehty hake.

Tiivistulokset olivat huomattavasti korkeampia kuin aikaisemmissa tutkimuksissa saadut tulokset. Tyypillisen polttohakkeen, TT 1000 TU -laikkahakkurilla tehdyn pienkokopuuhakkeen tiiviyys oli 0,49, 0,48 ja 0,54, kun puulajeina olivat mänty, koivu ja leppä. Tyypillisen metsäteollisuuden raaka-aineeksi tarkoitetun hakkeen, TT 1500 LP -laikkahakkurilla tehdyn kokopuuhakkeen tiiviyys oli 0,48 ja 0,45, kun puulajeina olivat mänty ja koivu. Hakkuutähdehakkeen tiiviyys oli keskimäärin 0,38.

Tulosten perusteella esitetään käytännölliset suositukset metsähakkeen toimituspaikalla tapahtuvan irtotilavuusmittauksen yhteydessä käytettäviksi tiiviyyslukuiksi hakkuri-

tyypeittäin ja hakelajeittain eri vuodenaikoina.

Metsähakkeen irtotilavuusyksikön tuoremassa ilmaisee kuljetettavan ja käsiteltävän materiaalin massan ja kuivamassa ilmaisee jalostukseen tai polttoon saatavan materiaalin massan. Tuoremassa riippuu hakkeen kuiva-tuoretiheydestä ($\text{kg}/\text{i-m}^3$), kosteudesta ja tiiviydestä ja kuivamassa kuiva-tuoretiheydestä ja tiiviydestä. Kuiva-tuoretiheyteen ja kosteuteen vaikuttavat hakkuria lukuunottamatta samat tekijät kuin tiiviyteen.

Yksittäisten tekijöiden vaikutus metsähakkeen kuivamassaan oli seuraavaa suuruusluokkaa, kun muut vaikuttavat tekijät olivat suunnilleen vakioita:

	Vaikutus kuivamassaan, $\text{kg}/\text{i-m}^3$
Hakkuri	5—53
Hakelaji	5—47
Hakepuun kuivatusaika	1—36
Haketusvuodenaika	12—27
Hakepuun järeys	3—33 (koivurankahake)
Kuljetuskalusto	
— traktori/nuppiauto	3—12
— vetoauto/perävaunu	2—14

Hakkurin vaikutus kuivamassaan oli samantyyppinen kuin tiiviyteen. Hakelajin vaikutus johtui sekä hakkeen puulajin kuiva-tuoretiheydestä että tiiviydestä. Hakkeen kosteuserot vaikuttivat samaan suuntaan kuin tiiviyserot, joten tuoreesta puusta tehdyssä hakkeessa hakelajien kuivamassaerot olivat suhteellisen pienet. Vertailu tuoreen ja ylivuotisen hakkeen välillä osoitti, että hakepuun kuivatuksesta (puuaineen lahoaminen) aiheutuneet kuiva-ainetappiot alensivat kuivamassaa vähemmän kuin tiiviiden kohoaminen kohotti sitä.

Metsähakkeen kuivamassa oli talvella korkeampi kuin kesällä. Tuoreesta ja ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen kuivamassaero oli talvella pienempi kuin kesällä.

Hakkuri- ja hakelajikohtaisia kuivamassatuloksia eri vuodenaikoina voidaan käyttää metsähakkeen arvon arvioinnissa, koska tulosten luotettavuus on hyvä. Tyypillisen polttohakkeen, TT 1000 TU -laikkahakkurilla tehdyn pienkokopuuhakkeen, kuivamassa oli 186, 207 ja 193 $\text{kg}/\text{i-m}^3$, kun puulajina oli mänty, koivu ja leppä. Tyypillisen metsäteollisuuden raaka-aineeksi tarkoitetun hakkeen, TT 1500 LP -laikkahakkurilla tehdyn kokopuuhakkeen, kuivamassa oli 188 ja 205 $\text{kg}/\text{i-m}^3$, kun puulajina oli mänty ja koivu. Hak-

kuutähdehakkeen kuivamassa oli keskimäärin 171 kg/i-m³.

Metsähakkeen kosteus riippuu hakelajista, hakepuun käsittely- ja varastointiajasta ja -tavasta sekä vuodenajasta. Tuoreesta puusta tehtynä hakkeen keskikosteus oli säännöllisesti korkeampi kuin usein esitetty tavoitearvo 40 %. Ylivuotisesta puusta tehtynä vain hakkuutähde- ja mäntykokopuuhakkeen keskikosteudet ylittivät tavoitearvon.

Metsähakkeen palakoon merkitys riippuu hakkeen käyttötarkoituksesta. Sulfaattiselluloosateollisuudessa halutaan maksimoida keittoprosessiin sopivan jakeen (pituus 6—32 mm, paksuus 2—8 mm) osuus hakkeessa. Lastulevyteollisuudessa on suuripalainen hake edullisinta. Kummassakin käyttömuodossa metsähake seulotaan tehtaalla halutun palakoon saavuttamiseksi ja myös kuori- ja viherainepitoisuuden vähentämiseksi. Polttihakkeen palakokovaatimukset riippuvat lämpöläitoskohtaisista teknisistä ratkaisuista. Yleensä vain ylisuuret oksat ja tikut ovat haitallisia lämpöläitösten toiminnoille.

Sekä hyväksytyin hakkeen että äärijakeiden osuudet riippuvat ennen kaikkea hakkurin toimintaperiaatteesta, hakelajista, hakepuun järeydestä, kuivatusajasta ja haketusvuodenajasta. Laikkahakkureilla tehty hake oli parempaa kuin muilla hakkureilla tehty hake, varsinkin kesällä. Rankahake oli parempaa kuin kokopuuhake, joka puolestaan oli selvästi parempaa kuin hakkuutähdehake. Eri puulajeista tehdyn kokopuuhakkeen paremmuusjärjestys oli leppä, koivu, mänty ja kuusi.

Hakepuun kuivatusajan ja haketusvuodenaajan vaikutukset hakkeen laatuun olivat täysin erisuuntaiset, kun tarkasteltiin hakkeen

pituutta ja paksuutta. Vaikutukset johtuivat tuoreen ja ylivuotisen hakepuun ja sulan ja jäätyneen hakepuun erilaisesta puuaineen kovuudesta sekä oksien ja latvusten katkeiluudesta.

Hakkeen pituusjakaamaa hakepuun kuivattaminen huononsi kuusikokopuuhaketta lukuun ottamatta. Hakkeen paksuusjakaamaa hakepuun kuivattaminen sen sijaan paransi koivukokopuuhaketta lukuun ottamatta. Haketusvuodenaajalla oli pääpiirteissään samansuuntaiset ja jopa suuremmat vaikutukset hakkeen pituus- ja paksuusjakaamaan kuin hakepuun kuivatusajalla.

Metsähakkeen irtotilavuusyksikön tehollinen lämpöarvo riippuu hakkeen biomassan koostumuksesta, kuiva-tuoretiheydestä, tiiviydestä ja kosteudesta. Hakkuri- ja hakelajikohtaiset tulokset eri vuodenaikoina olivat odottamattoman korkeat hakkeen korkean tiiviyden ansiosta. Tyypillisen polttihakkeen, TT 1000 TU -hakkurilla ylivuotisesta pienkokopuusta tehdyn hakkeen, lämpöarvo oli keskimäärin 3280, 3650 ja 3530 MJ/i-m³, kun puulajeina olivat mänty, koivu ja leppä. Koivu- ja leppärankahakkeen lämpöarvot olivat vastaavasti 3720 ja 3600 MJ/i-m³. Hakkuutähdehakkeen lämpöarvo oli hieman alle 3000 MJ/i-m³. Ylivuotisesta puusta tehdyn hakkeen lämpöarvo oli kesällä selvästi parempi kuin tuoreesta puusta tehdyn hakkeen lämpöarvo. Talvella hakkeen sekaan joutuvat lumi ja jää pienentävät näitä eroja huomattavasti. Talvella tehdyn hakkeen lämpöarvo oli tuoreesta puusta ja ylivuotisesta pienpuusta tehtynä parempi ja ylivuotisesta, ainespuuta sisältävästä kokopuusta ja hakkuutähdeestä tehdynä huonompi kuin kesällä tehdyn.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokaisen koivun ja harmaalepän biomass ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia Forestalia* 500. 37 s.
- Borlew, P. & Miller, R. 1970. Chip thickness: A critical dimension in kraft pulping. *Tappi* 53(11): 2107—2111.
- Gislerud, O. 1974. Heltreutnyttelse. II. Biomasse og biomassgenskaper 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. 59 s.
- Hakkila, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. *Communications Instituti Forestalis Fenniae*. 54(4). 82 s.
- 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 61(5). 98 s.
- 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. Summary: Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. *Communications Instituti Forestalis Fenniae*. 62(5). 37 s.
- 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder. Tiivistelmä: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 71(5). 33 s.
- 1971. Coniferous branches as a raw material source. Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 75(1). 60 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 33. 121 s.
- , Kalaja, H. & Mäkelä, M. 1975. Kokopuun käyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. *Folia Forestalia* 240. 78 s.
- , Kalaja, H., Salakari, M. & Valonen, P. 1977. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. Seloste: Kokopuuna korjuu männikön ensiharvennuksessa. *Folia Forestalia* 333. 58 s.
- , Leikola, M. & Salakari, M. 1978. Pienpuuston kasvatusta, talteenottoa ja käyttöä. Lyhytkiertopuun kasvatusta ja käyttöprojektin loppuraportti. SITRA, sarja B 46. 159 s.
- & Mäkelä, M. 1975. Pallarin vesakkoharvesteri. Summary: Pallari busharvester. *Folia Forestalia* 249. 18 s.
- Hovila, P. 1981. TT 1000 TU ja TS kokopuuhaakurit. Summary: TT 1000 TU and TS whole-tree chippers. *Folia Forestalia* 480. 20 s.
- Jämsén, T. 1983. Päivä Kajaani Oy:ssä. Metsätieteen opiskelijoiden teollisuusretkeily 9.2. Moniste. 3 s. Julkaisematon.
- Kalaja, H. 1984. Varastointi- ja siirtolaitteiden toimintahäiriöt metsähaketta käytävissä lämpölaitoksissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 166. 24 s.
- & Rantamäki, J. 1982. Junkkari laikkahakurit. Summary: Junkkari disc chippers. *Folia Forestalia* 513. 19 s.
- Kanninen, K. 1980. Pienikokaisen lehtipuun pinomittaus rankana ja kokopuuna. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste 3. 29 s.
- , Uusvaara, O. & Valonen, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittausta ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-tree raw material. *Folia Forestalia* 403. 53 s.
- Kuitto, P.-J. 1983. Hakkutäteiden korjuu monitoimikonehakkuaan jälkeen. Metsätehon moniste 25.1. 24 s.
- Kärkkäinen, M. 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Summary: Density and moisture content of wood and bark, and percentage in the branches of birch, Norway spruce, and Scots pine. *Silva Fennica* 10(3): 212—236.
- 1980. Haapakokopuiden tekniset ominaisuudet. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste. 30 s. Julkaisematon.
- Laanti, J. 1961. Hakkeelle asetettavat vaatimukset seluloosan ja puoliseluloosan valmistuksessa sekä laadun vaikutus hintaan. *Puumies* 5(11): 305—307.
- Lönnberg, B. 1986. Vedråvara och papper. Nordiska forskarkurser. Ändamålsenligt utnyttjande av virkeskvaliteten i de nordiska skogarna. Hanaholmens kurscentrum. Helsingfors 24.—28.02. Moniste. 5 s.
- Metsola, E. 1983. Erilaisilla hakureilla valmistetun metsähakkeen ominaisuudet. Metsäteknologian pro gradu-työ. Helsingin yliopisto. Metsäteknologian laitos. 72 s.
- Mäkelä, M. 1977a. Metsähakkeen tiheyden laskeminen. Summary: Calculating the basic density of whole tree- and logging residue chips. *Silva Fennica* 11(2): 136—147.
- 1977b. Seulontatuloksia Algol-monikäyttöhaakurin hakkeesta. Summary: Screening results on the chips made by Algol-multipurpose chipper. *Silva Fennica* 11(2): 97—109.
- Nieminen, M. & Ranta, J. 1982. Kotimaisten polttoaineiden ominaisuudet. Osa 2. Näytteiden esikäsittely ja testausohjeet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 164. 40 s. Espoo.
- Nylinder, M. 1982. Sägverksflis. Del 2. Vikter och volym vid transport. Summary: Saw mill chips. Part 2. Weights and volumes during transportation. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport 129. 68 s.
- Olofsson, L. 1975. Värmevärdet för olika delar av tall, gran och bjork. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Skogshögskolan. Institutionen för Skogsteknik. Rapporter och Uppsatser 90. 47 s.

- Pellikka, M. 1983. Homepölyaltius polttohakkeen käsittelyn yhteydessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 81. 76 s.
- Pietilä, J. 1984. Kokopuuhakkeen ominaisuuksista ja hakepuun korjuussa vaikuttavista tekijöistä. Puuteknologian pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 74 s.
- Rantamaula, J. 1981. Hakkuutähteiden haketus kevyellä kalustolla. Summary: Chipping logging residues with light-weight equipment. *Folia Forestalia* 498. 24 s.
- Saukkonen, M. 1971. Hakkeen näytteenotto- ja laatu-analyysimenetelmät. Oy Keskuslaboratorio-Central-laboratorium Ab. Sellukeitto 156, seloste 1045. 56 s.
- Simola, P. 1977. Pienikokoisen lehtipuuston biomassassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. *Folia Forestalia* 302. 16 s.
- Uusvaara, O. 1978. Teollisuushakkeen ja purun painomittaus. Summary: Estimation of industrial chip and sawdust weight. *Folia Forestalia* 341. 18 s.
- 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Summary: Decreasing the moisture content of chip wood before chipping, harvesting and storage measures. *Folia Forestalia* 599. 31 s.
- 1986. Sahanhakkeen painomittaus. Summary: 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 determination of saw mill chips in Finland. *Folia Forestalia* 234. 28 s.
- Wahlman, M. 1967. Lastupaksuuden merkitys sulfaatitöissä ja lastupaksuusmääritys. Summary: The importance of the chip thickness in alkaline pulping and the chip thickness analyse. *Paperi ja Puu* 49(3): 107—110.
- Vehmas, T., Hakala, T. & Ritala, P. 1983. Hakkuutädehakkeen korjuutekniikka ja ominaisuudet. Kotimaisten polttoaineiden alueellinen hyväksikäyttö. KTM, Energiaosasto. SITRA. Tutkimusraportti 23. 95 s.
- Verkasalo, E. 1985. Metsähakkeen mittaus lämpölaimeksella. *Teho* 10: 32—35.
- 0,5—2,0 MW:n lämpökeskusten hankintaohjelmamalli (kotimaiset polttoaineet). 1982. Rakennushallitus. Raportti 3. 16 s. Helsinki.

Total of 44 references

SUMMARY

Solid content and other technical properties of forest chips

Forest chips are usually measured in Finland by loose volume at the delivery point. Information about the solid content of the loose volume unit is needed for fixing purchase prices and determining the chipping and transport fees of forest chips, and for comparing the costs of various fuels. The conversion factor used is the solid content value of forest chips (m^3 solid/ m^3 loose). The average solid content value 0.40 has generally been used in the measurement of all kinds of forest chips. This value, however, is too imprecise to give even an approximately proper idea of the fuel or raw material amount contained in the loose volume unit of forest chips.

The investigation material comprised 879 loads of forest chips. The chip loads were weight scaled and their loose volumes were measured at the delivery point. A moisture content sample was taken from every load. Particle size and some other samples were taken from some loads. The solid content for each chip load was calculated by dividing the dry weight kg/m^3 loose by the calculated basic density of the chips, kg/m^3 , for which the basis was found in the earlier studies of The Finnish Forest Research Institute (Fig. 1).

This study deals with factors affecting the solid content of forest chips. Recommendations of the solid content values suitable for measurement of the loose volume of forest chips are presented for practical application. In addition, the other most important technical properties of forest chips (green and dry weight, moisture content, particle size, effective fuel value) are studied.

The solid content of forest chips depends mostly on the chipper and kind of chips (tree species and assortment). These factors explained 49.1 % of the variation of solid content (Table 3). The explanation degree of the models to explain the variation of solid content improved 5.4 % units altogether when other affecting factors were included in the models. The moisture content of chipwood was a significant factor, unexpectedly. This was mainly because of the varying solid content of brown (dry) and green (wet) chips.

The influence of certain factors on the solid content of forest chips was the following size class, while the other affecting factors were approximately constant:

	Influence on solid content, units
Chipper	0,011—0,100
Kind of chips	0,015—0,136
Drying time of chip wood	0,003—0,066
Chipping season	0,006—0,055
Size of chipwood	0,011—0,032 (bole chips of birch)
Transport vehicle	
— tractor/truck	0,011—0,031
— truck/trailer	0,015—0,040

The influence of the chipper on solid content was due to differences in the loading method (blowing power of chips) and conversion principle (particle size of chips). The influence of the kind of the chips on solid content is a combination of the influences of tree species and

assortment. Chips made of brown wood were more compact than those made of green wood, and chips made in winter were more compact than those made in summer. Chips made of small-sized tree lengths were more compact than those made of pulpwood.

The solid content results (Tables 4 and 5) were significantly higher than those measured in earlier studies. The solid content of typical fuel chips, whole tree chips made of small-sized wood by the TT 1000 TU -disc chipper, was 0.49, 0.48 and 0.54, when the tree species were pine, birch and alder. The solid content of typical chips for industrial purposes, whole tree chips made by the TT 1500 LP disc chipper, was 0.48 and 0.45, when the tree species were pine and birch. The solid content of slash chips was 0.38 on the average. Recommendations on the solid content values suitable for measurement of the loose volume of forest chips at the delivery point are presented for practical application by type of chipper and kind of chips in various seasons (Table 14).

Green weight per loose volume unit of forest chips indicates the mass of the material to be transported and handled, and dry weight indicates the mass of the material to be processed or burned. Green weight depends on the basic density (kg/m^3), moisture content and solid content of the chips and dry weight depends on the basic density and solid content. The basic density and moisture content of chips are affected by the same factors as the solid content of the chips, apart from the chipper.

The influence of certain factors on the dry weight of forest chips was the following size class while the other affecting factors were approximately constant:

	Influence on dry weight, kg/m^3 loose
Chipper	5—53
Kind of chips	5—47
Drying time of chipwood	1—36
Chipping season	12—27
Size of chipwood	3—33 (bole chips of birch)
Transport vehicle	
— tractor/truck	3—12
— truck/trailer	2—14

The influence of the chipper on dry weight was of the same kind as its influence on solid content. The influence of the kind of chips was due to the basic density of the tree species of the chips and the solid content. The differences in the moisture content of the chips were of the same trend as the differences in solid content; thus the differences in dry weight of the various kind of chips were relatively small for chips made of green wood. The comparison between green and brown chips demonstrated that the dry material losses caused by drying of chip wood (decay of wood) reduced the dry weight less than the rise in solid content increased it.

The dry weight of forest chips was higher in winter than in summer. The difference in the dry weight of chips made of green and brown wood was smaller in winter than in summer.

The results of the dry weight of forest chips by the chipper and kind of chips in various seasons (Tables 8 and 9) can be used to forecast the value of forest chips, because the reliability of the results is good. The dry weight of typical fuel chips, whole tree chips of small-sized trees made by the TT 1000 TU -disc chipper, was 186, 207 and 193 kg/m^3 loose when the tree species were pine, birch and alder. The dry weight of typical

chips for industrial purposes, whole tree chips made by the TT 1500 LP -disc chipper, was 188 and 205 kg/m^3 loose when the tree species were pine and birch. The dry weight of slash chips was 171 kg/m^3 loose on the average.

The moisture content of forest chips depends on the kind of chips, time and methods of handling and storing of chipwood and the season. The average moisture contents (Table 10) were regularly higher than the frequently presented target value 40 % when the chips was made of green wood. Slash chips and pine whole tree chips were the only kinds of chips whose average moisture content exceeded the target value when the chips were made of brown wood.

The importance of the particle size of forest chips depends on the intended use of the chips. In the sulphate cellulose industry the aim is to maximize the proportion of the fraction suitable for cooking (chip length 6...32 mm, thickness 2...8 mm). Chips of large particle size are best in the particle board industry. Forest chips are screened in the mill in both uses to yield the desired particle size and to reduce the bark and green material content. The particle size requirement of fuel chips depends on the technical solutions in the heating plant. Only too big branches and sticks are usually harmful for the operations of heating plants.

The proportions of both the accepted and the extreme fractions depended above all on the conversion principle of the chipper, kind of chips, size and drying time of chipwood and the chipping season (Table 11, Appendixes 4—9). Chips made with disc chippers were better than chips made with other chippers, especially in summer. Bole chips were better than whole tree chips, which again were clearly better than slash chips. The ranking order of whole tree chips made of various tree species was alder, birch, pine and spruce.

The influences of the drying time of chipwood and the chipping season were totally reversed when the length and thickness of the chips were studied. These influences were due to the varying hardness of the wood and tendency of branches and tops to break as far as regards green and brown chipwood and unfrozen and frozen chipwood.

The length distribution of the chips was adversely affected by drying of chipwood, with the exception spruce whole tree chips. The thickness distribution of the chips was improved by drying of chipwood, birch whole tree chips excepted. The chipping season had roughly similar and even greater influences than the chipwood drying time on the length and thickness distribution of the chips.

The effective fuel value of the loose volume unit of forest chips depends on the biomass contents, basic density, solid content and moisture content of the chips. The results by chipper and kind of chips in various seasons (Tables 12 and 13) were unexpectedly high thanks to the high solid content of the chips. The fuel value of typical fuel chips, whole tree chips made of brown, small-sized trees by the TT 1000 TU -chipper, was 3280, 3650 and 3530 MJ/m^3 loose on the average for pine, birch and alder. The fuel values of bole chips of birch and alder were 3720 and 3600 MJ/m^3 loose. The fuel value of slash chips was a bit under 3000 MJ/m^3 loose, and that of the chips made of brown wood was clearly better than that of the chips made of green wood. These differences narrowed considerably in winter because of snow and ice. The fuel value of the chips was better in winter than in summer, except for slash chips and whole tree chips made of brown wood containing pulpwood.

Liite 1. Hakkureiden teknisiä ominaisuuksia ja Suomessa käytössä olleiden koneiden lukumäärät kesällä 1984.

Appendix 1. Technical properties of the chippers and the numbers of the machines in use in Finland in summer 1984.

Merkki Mark	Tyyppi Type	Vetokone Draught machine	Kuormausmenetelmä Loading method	Terien säätö Regula- tions mm	Koneita kpl Number of machines
TT 1000 TU	Laikkahakkuri, 2-teräinen <i>Disc chipper with 2 cutters</i>	Järeä maata- loustraktori <i>Heavy tractor</i>	Puhallus kuormatilan päältä — <i>Blow from the top of the load</i>	25—30	50—60
TT 1000 TS	Laikkahakkuri, 2-teräinen <i>Disc chipper with 2 cutters</i>	Järeä maata- loustraktori <i>Heavy tractor</i>	Puhallus hakkurin hakesäiliöön ja kip- paus vaihtolavalle <i>Blow to the container of the chipper and tip-up to the multi- lift load</i>	25	3
TT 1500 LP ja L	Laikkahakkuri, 3-teräinen <i>Disc chipper with 3 cutters</i>	Kuorma-auto <i>Truck</i>	Puhallus kuormatilan takaa — <i>Blow from the back of the load</i>	27—30	5 ja 4
TT 910 R	Rumpuhakkuri, 2-teräinen <i>Drum chipper with 2 cutters</i>	Kuorma-auto <i>Truck</i>	Puhallus kuormatilan takaa — <i>Blow from the back of the load</i>	25	1
Erjo 120 — HV-900	Rumpuhakkuri, 2-teräinen <i>Drum chipper with 2 cutters</i>	Kuorma-auto <i>Truck</i>	Puhallus kuormatilan päältä — <i>Blow from the top of the load</i>	25	2
Bruks 1001 CT	Rumpuhakkuri, 2-teräinen <i>Drum chipper with 2 cutters</i>	Metsätraktori <i>Forwarder</i>	Puhallus kuormatilan päältä — <i>Blow from the top of the load</i>	25	1
Algol HEM 300—1000 WEA	Rumpuhakkuri, 20-teräinen <i>Drum chipper with 20 cutters</i>	Kuorma-auto <i>Truck</i>	Puhallus kuormatilan takaa — <i>Blow from the back of the load</i>	50	2
Pete 1000	Kartiorumpu- hakkuri, 2-teräinen <i>Conedrum chipper with 2 cutters</i>	Metsätraktori <i>Forwarder</i>	Puhallus hakkurin hakesäiliöön ja kippaus vaihtolaval- le — <i>Blow to the con- tainer of the chipper and tip-up to the multi-lift load</i>	30	2
Lokomo MS9	Vasaramylly- murskain, 30- vasarainen roottori <i>Hammermill cross with rotator of 30 hammers</i>	Kuorma-auto <i>Truck</i>	Hihnakuuljetin kuorma- tilan päältä <i>Belt conveyor from the top of the load</i>	—	3

Liite 2. Leimikoiden sekä hakkurien ja hakelajien keskimääräisiä puusto- ja korjuutietoja (painotus hakeuormien lukumäärällä).

Hakkuri	Hake- laji	Leimikon sjaainti- kunta	Hake- puuta, m ³	Koe- kuormia, kpl	Hakkuu- tapa	d _{1,3} cm	Kaato- kk	Raaisa/ patalalla, kk	Varas- tossa, kk	Haketus- kk	Kuljetus- matka, km	Hakkeen käyttö- tarkoitus	Pääpuu- lajin osuus, %	Laskennalli- nen kuiva- tuoreiheys, % kg/m ³	
TT 1000 TU	Mä-kop	Oulu	40	2	H	5	10	0	11	9	8	1	80	388,1	
		Oulu	200	8	H	5	5	4	13	10	6	1	100	365,0	
		Oulu	82	2	H	4	5	4	13	9	6	1	80	388,1	
		Oulu	115	8	H	5	3	0	22	1	6	1	80	388,1	
		Virrat	110	6	H	7	4	0	17	3	75	1	95	385,5	
		Keskim.	109	5,2		5,4		1,5	16,5		22			90	380,4
		Ku-kop	Virrat	63	4	HR	4	5	3	7	3	7	1	75	416,6
		Ko-kop	Oulu	120	4	A	4	9	0	13	10	8	1	80	418,3
		Ylikiminki	626	32	H	5	2	4	16	11	58	1	100	444,7	
		Virrat	270	20	HR	5	1	0	9	10	35	1	85	443,7	
TT 1000 TU	Le-kop	Ranua	50	2	HR	4	5	3	7	4	2	1	95	441,1	
		Oulu	591	13	H	4	3	0	22	1	6	1	65	416,1	
		Oulu	194	7	H	4	10	0	6	4	8	1	60	416,1	
		Oulu	103	2	A	4	9	0	4	1	10	1	70	438,7	
		Oulu	357	11	H	4	11	2	13	4	14	1	70	423,5	
		Oulu	53	4	H	4	9	4	13	4	14	1	80	427,7	
		Oulu	271	14	H	5	10	3	12	1	15	1	80	422,1	
		Virrat	100	7	Y	5	4	2	9	3	21	1	95	441,1	
		Vihanti	52	2	HR	7	9	1	30	4	105	1	90	438,8	
		Keskim.	232	9,8		4,6		1,9	13,4		30			84	433,1
TT 1000 TU	Le-kop	Kerimäki	115	4	A	7,3	7	2	14	11	102	2	95	339,6	
		Kerimäki	100	6	A	8	7	2	14	11	104	2	90	347,3	
		Kerimäki	40	3	Y	5	7	0	15	11	101	2	60	350,6	
		Kerimäki	73	4	Y	6	8	2	26	12	92	2	70	366,5	
		Kerimäki	183	8	Y	7	8	2	26	12	92	2	70	364,2	
		Keskim.	102	5,2		6,9		1,7	19,1		97			75	341,3
		Mä-ranka	Oulu	120	4	H	4	2	4	16	11	15	1	85	377,2
		Roi mlk	120	14	HR	5	9	8	15	8	2	1	70	418,3	
		Roi mlk	100	3	H	5	8	0	31	4	2	1	100	370,0	
		Keskim.	113	7		4,8		6,1	17,5		5			77	403,6

Liite 2. jatkoa.

Hakkuri	Hake- laji	Leimikon sijainti- kunta	Hake- puuta, m ³	Koe- kuormia, kpl	Hakkuu- tapa	d _{1,3} cm	Kaato- kk	Raissa/ pakstalla, kk	Varas- tossa, kk	Haketus- kk	Kuljetus- marka, km	Hakkeen käyttö- tarkoitus	Pääpuu- lajin osuus, %	Laskennalli- nen kuva- tuoreisuus, % kg/m ³
Ko-ranka														
		Roi mlk	700	15	A	11	1	0	8	8	2	1	100	494,7
		Kerimäki	30	2	HR	5	2	0	20	11	96	2	60	402,7
		Kerimäki	25	2	T	4	4	4	26	11	97	2	80	417,4
		Oulu	172	5	H	4	11	6	7	1	8	1	85	422,6
		Virrat	50	2	H	5	6	0	21	3	26	1	95	463,9
		Virrat	400	11	H	9	6	3	6	3	19	1	80	468,2
		Roi mlk	140	5	H	9	4	0	11	4	2	1	100	484,1
		Keskim.	217	6		8,5		1,7	9,8		17		90	468,4
Le-ranka														
		Kerimäki	55	3	Y	8	4	0	19	11	107	2	90	344,0
		Kerimäki	47	3	Y	11	11	0	35	11	108	2	95	334,3
		Kerimäki	21	2	A	11	5	0	30	12	91	2	100	331,4
		Kerimäki	20	2	A	9	4	0	31	12	92	2	100	332,0
		Kerimäki	74	4	A	9	3	0	32	12	93	2	90	340,9
		Kerimäki	88	5	A	11	4	0	31	12	92	2	100	331,4
		Keskim.	51	3,2		9,9		0	30,1		97	2	96	335,9
TT 1000 TS														
	Mä-kop	Oulu	50	2	H	4	7	3	16	10	15	1	100	374,0
		Oulu	120	3	H	7	5	1	5	11	40	1	95	386,0
		Haukipudas	100	4	H	5	5	0	30	11	22	1	100	374,0
		Ylikiminki	60	3	HR	6	8	0	15	11	38	1	70	395,2
		Kiminki	28	1	H	3	6	0	7	11	20	1	100	374,0
		Puolanka	110	4	A	6	9	0	30	3	97	1	95	377,8
		Vaala	80	1	H	6	6	15	16	11	105	1	100	374,0
		Keskim.	43	2,6		5,7		1,3	19,1		48		93	380,5
	Ku-kop	Muhos	120	2	HR	7	11	7	34	4	55	1	70	454,3
Ko-kop														
		Oulu	260	14	H	5	1	4	16	10	6	1	80	431,2
		Oulu	40	2	T	6	5	3	4	12	40	1	90	433,4
		Tyrnävä	28	1	H	3	6	3	29	11	30	1	100	446,1
		Utajärvi	320	6	H	6	7	0	3	12	58	1	100	444,7
		Oulu	55	8	A	7	5	0	10	3	40	1	90	431,3
		Ii	100	3	H	7	2	1	37	4	43	1	100	441,8
		Ii	130	5	A	7	11	7	34	4	55	1	90	454,3
		Ylikiminki	114	4	H	5	5	5	5	3	57	1	80	447,4
		Vaala	200	4	H	7	9	12	16	1	90	1	80	430,0
		Vaala	110	4	H	7	6	12	19	1	105	1	95	438,9
		Vaala	280	8	H	9	8	1	28	1	108	1	90	452,5
		Vaala	50	4	H	9	6	5	15	2	115	1	95	456,5
		Vaala	62	2	H	4	3	3	19	1	120	1	95	440,7
		Keskim.	135	5		6,3		3,9	17,2		62		88	440,9

TT 1000 TS	Le-kop	Rantasalmi	30	3	Y	7	5	2	8	3	40	1	90	347,3
		Rantasalmi	40	4	HR	5	6	2	6	2	40	1	100	332,0
		Rantasalmi	130	8	Y	7	6	2	6	2	40	1	95	342,0
		Rantasalmi	39	3	HR	8	6	1	8	3	40	1	95	342,0
		Rantasalmi	65	5	Y	7	5	10	31	2	40	1	100	336,7
		Keskim.	61	4,6		6,8		3,6	12,0		40		96	339,4
	Mä-ranka	Kiiminki	30	1	H	5	8	2	16	11	23	1	70	400,7
		Utajärvi	110	2	Y	4	6	1	18	12	53	1	100	380,6
		Keskim.	70	1,5		4,3		1	17		43		90	387,3
	Ko-ranka	Tyrnävä	95	3	HR	7	7	1	15	11	35	1	100	433,7
		Vaala	60	2	H	4	3	3	19	1	120	1	100	439,4
		Keskim.	78	2,5		5,8		2,2	16,6		86		100	436,0
TT 1500 L	Mä-kop	Simo	309	13	H	7,6	8	0	0	8	26	4	95	386,2
		Tervola	319	18	H	7,9	9	0	0	9	78	4	65	402,9
		Utajärvi	2000	10	H	9	8	0	1	9	88	4	95	389,1
		Tornio	92	3	H	6,4	11	0	1,5	2	65	4	95	388,3
		Pudasjärvi	236	3	H	8,1	11	0	4	3	149	4	100	385,3
		Pudasjärvi	87	2	H	8,3	9	0	6	3	101	4	87	387,6
		Lumijoki	759	2	H	7,4	10	0	4	2	67	4	100	385,4
		Rantsila	1751	20	H	8,2	10	0	3	2	88	4	93	391,3
		Keskim.	694	8,9		8,1		0	2,1		76		87	392,3
	Ku-kop	Ylitornio	1246	12	A	7	9	0	11	8	152	4	74	454,7
		Simo	126	7	A	7,8	8	0	0	8	80	4	95	402,0
		Tornio	251	2	H	9,2	11	0	1,5	2	65	4	90	410,3
		Tornio	369	14	A	9	9	0	1,5	2	54	4	100	422,5
		Kemi	190	10	A	9	8	0	6	2	10	4	96	422,5
TT 1500 L	Ku-kop	Kuivaniemi	500	17	A	11	8	0	18	2	36	4	90	419,0
		Simo	280	12	A	11	9	0	5	2	64	4	100	422,5
		Keskim.	423	10,6		9,4		0	8,9		60		91	419,2
	Ko-kop	Ylitornio	424	6	A	7	9	0	11	8	152	4	100	451,7
		Simo	58	3	A	6,9	8	0	0	8	80	4	95	457,5
		Tervola	156	11	H	7,6	9	0	0	9	41	4	60	435,5
		Tervola	91	5	H	7,6	9	0	0	9	43	4	60	437,3
		Utajärvi	800	2	H	7	8	0	1	9	88	4	95	457,1
		Outokumpu	394	8	H	11	10	0	8	6	80	5	80	451,0
		Tornio	568	24	H	6,3	11	0	1,5	2	65	4	95	441,8
		Tornio	154	5	H	8,5	11	0	3	2	58	4	91	455,1
		Tornio	195	10	A	11	11	0	3	2	58	4	100	471,9
		Tornio	184	9	H	8,3	11	0	1,5	2	39	4	100	444,7
		Tornio	215	10	H	8,1	11	0	3	2	41	4	95	456,3
		Kemi	128	7	A	11	8	0	6	2	10	4	97	465,7
		Kuivaniemi	50	1	A	11	8	0	8	2	36	4	100	459,2
		Simo	140	6	A	11	9	0	1,5	2	64	4	100	471,9
		Lumijoki	237	8	H	7,3	10	0	4	2	67	4	95	456,3
		Vaala	146	8	H	7,0	9	0	5	2	73	4	100	460,2
		Keskim.	246	7,7		8,3		0	7,1		60		94	467,1
	Le-kop	Uukuniemi	468	20	Y	13	10	0	7	5	51	5	70	397,1
	Ko-ranka	Ylitornio	1602	20	A	14	11	0	10	9	95	4	85	480,3

Liite 2. jatkoa.

Hakkuri	Hake- laji	Leimikon sijainti- kunta	Hake- puuta, m ³	Koe- kuormia, kpl	Hakkuu- tapa	d _{1,3} cm	Kaato- kk	Rasissa/ palsilla, kk	Varas- tossa, kk	Haketus- kk	Kuljetus- matka, km	Hakkeen käyttö- tarkoitus	Pääpuu- lajin osuus, %	Laskennalli- nen kuiva- tuoreitus, kg/m ³
TT 910 R	Ko-kop	Padasjoki Hyvinkää Keskim.	152 800 476	9 15 12	Y A	11 9 9,8	8 11	1 2 1,2	9 1 4,0	6 1	115 36 66	3 3	70 75 73	422,5 420,8 421,4
	Ko-ranka	Vantaa	540	11	H	7	5	0	14	7	55	1	90	423,5
TT 910 R	Ht-vihreä (Ku)	Hyvinkää Janakkala Lappila Keskim.	90 370 1163 541	5 14 14 11	HT HT HT	— — —	7 9 10	0 0 0	0 0 3 1,3	7 9 1	30 22 38 31	3 3 3	92 80 88 85	422,6 428,5 468,2 444,4
Erjo	Le-kop	Mikkeli milk Mikkeli milk Mikkeli milk Mikkeli milk Keskim.	50 50 70 90 65	2 8 8 15 6,8	HR Y Y Y	6 6 7 7 6,9	6 5 7 5	1 2 1 1	7 7 9 8,1	2 2 3 3	40 40 40 40	3 3 3 3	100 80 100 90 93	332,0 357,6 332,0 347,3 342,3
Bruks 1001 CT	Mä-kop	Kannonkoski	240	6	H	11	2	0	4	6	82	4	100	382,6
	Ko-kop	Kannonkoski	160	4	H	9	2	0	4	6	82	3	100	460,2
Algol	Mä-kop	Äänekoski Multia Keskim.	680 1500 1090	10 9 9,5	H H H	11 11 11	7 3 0	0 0 0	11 3 7	6 6 6	14 60 37	4 4 4	100 100 100	382,6 382,6 382,6
Pete 1000	Mä-kop	Ruokolahti Puumala Keskim.	712 965 839	15 15 15	H H	11,3 9,6 10,5	10 10	1 1	4 5 4,5	3 4 4	39 80 60	4 4 4	97 65 81	385,9 403,5 394,7
Lokomo MS9	Vesakko	Vantaa	480	10	H	7	9	2	7	6	57	3	—	394,0
Ht-vihreä (Ku)	Keuruu	Keuruu	120	6	HT	—	12	0	1	1	41	3	59	426,5
Ht-ruskea (Ku)	Vilppula Kangasala Hausjärvi Keskim.	Vilppula Kangasala Hausjärvi Keskim.	136 650 1500 762	9 10 11 10	HT HT HT	— — —	4 8 3	1 2 2	12 8 21 14,0	5 6 2	20 37 82 48	3 3 3	90 65 80 78	479,5 449,6 477,1 468,7

LYHENTEET

Hakejaji: Mä-kop = mäntykokopuu, le-ranka = leppäranka,
ht-vihreä = vihreä hakkuutähde, jne.

Hakkeen käyttötarkoitus:

- 1 = energian tuotanto, aluelämpölaitos tai suurkiinteistö
- 2 = energian tuotanto, meijeri tms. tuotantolaitos
- 3 = energian tuotanto, metsäteollisuus
- 4 = metsäteollisuuden raaka-aine, sulfaattiselluloosa
- 5 = metsäteollisuuden raaka-aine, lastulevy

Hakkuutapa: A = avohakkuu, H = harvennushakkuu, Y = ylispuuhakkuu
(verhoppuuston poisto), T = taimikon perkaus, HR = hakkuualan
raivaus, HT = hakkuutähteiden korjuu monitoimikonetyömaalta

Liite 3. Keskimääräisiä mittaustuloksia metsähakkeen biomassan koostumukselta.

Hakelaji	Näytteitä, kpl	Puuaine			Kuori				Viher- aine
		Runko	Oksat	Yht.	Runko	Oksat	Irti	Yht.	
Selluhake									
Mäntykokopuu	20	79,0	4,8	83,8	3,2	3,5	4,7	11,4	4,8
Kuusikokopuu	3	65,3	8,7	74,0	9,4	4,5	7,5	21,4	4,6
Kuusiosapuu	5	77,7	7,1	84,8	4,8	3,9	5,1	13,8	1,4
Koivukokopuu	17	80,1	5,1	85,2	5,4	2,8	5,5	13,7	1,1
Koivuosapuu	6	79,5	5,9	85,4	2,3	3,9	8,0	14,2	0,4
Leppäkokopuu	1	80,8	9,9	90,7	1,9	2,9	4,5	9,3	—
Polttohake									
Mäntykokopuu	2	67,0	16,9	83,9	1,4	7,7	5,0	14,1	2,0
Kuusikokopuu	1	59,5	24,6	84,1	2,2	6,0	7,7	15,9	—
Koivukokopuu	4	75,4	9,3	84,7	2,7	4,7	6,5	13,9	1,4
Mäntyranka	2	95,1	—	95,1	0,7	—	4,2	4,9	—
Koivuranka	5	85,4	—	85,4	6,0	—	8,6	14,6	—
Leppäranka	2	90,0	—	90,0	3,3	—	6,7	10,0	—
Hakkuutähde									
Vihreä	9	36,7	24,0	60,7	4,2	15,9	7,0	27,1	12,2
Ruskea	3	38,1	30,5	68,6	3,0	18,9	4,0	25,9	5,5

Liite 4. TT 1500 LP -laikkahakkurilla tehdyn metsähakkeen pituusjakauma hake-
lajeittain ja kuivusasteittain eri vuodenaikoina.
*Appendix 4. Length distribution of forest chips made with the TT 1500 LP disc
chipper, by kind of chips and degree of dryness in various seasons.*

Hakelaji ja kuivusaste <i>Kind of chips and degree of dryness</i>	Vuoden- aika <i>Season</i>	Näytteitä, kpl <i>Number of samples</i>	>45 Kapulat <i>Sticks</i>	Pituusjake, mm — <i>Fraction of length, mm</i>			
				32—45 Karkka- jake <i>Rough fraction</i>	13—32 Hyväksyt- ty jake <i>Accepted fraction</i>	6—13 Välijake <i>Middle fraction</i>	<6 Hienojake <i>Fine fraction</i>
				% tuoremassasta — <i>Per cent of green weight</i>			
Mäntykokopuu <i>Pine whole tree</i>							
Tuore — <i>Green</i>	Kesä <i>Summer</i>	41	0,8	7,7	62,0	21,3	8,2
	Talvi <i>Winter</i>	22	0,7	1,5	39,2	36,5	22,1
Ylivuotinen <i>Brown</i>	Talvi <i>Winter</i>	3	0,4	2,7	34,8	28,6	23,1
Kuusikokopuu <i>Spruce whole tree</i>							
Tuore — <i>Green</i>	Kesä <i>Summer</i>	7	1,2	6,7	55,8	21,8	14,5
	Talvi <i>Winter</i>	26 ¹	1,0	2,6	42,6	28,5	25,3
Ylivuotinen <i>Brown</i>	Kesä <i>Summer</i>	12 ¹	3,7	11,5	56,7	16,5	11,6
	Talvi <i>Winter</i>	19 ¹	1,2	6,0	56,7	23,2	12,9
Koivukokopuu <i>Birch whole tree</i>							
Tuore — <i>Green</i>	Kesä <i>Summer</i>	23	1,8	9,4	61,8	19,1	7,9
	Talvi <i>Winter</i>	37 ¹	1,4	6,6	55,8	25,0	11,2
Ylivuotinen <i>Brown</i>	Kesä <i>Summer</i>	6 ¹	3,2	11,7	61,9	16,3	6,9
	Talvi <i>Winter</i>	10 ¹	1,2	6,7	54,0	24,5	13,6
Leppäkokopuu <i>Alder whole tree</i>							
Tuore — <i>Green</i>	Kesä <i>Summer</i>	20	4,6	19,0	59,6	13,7	3,1
Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>							
Tuore — <i>Green</i>	Kesä <i>Summer</i>	20	2,1	14,5	64,5	14,0	4,9

¹ Sisältää myös osapuuta — *Contains also tree parts*

Liite 5. Rumpu- ja kartiorumpuhakkureilla tehdyn kokopuuhakkeen pituusjakauma hakkureittain, puulajeittain ja kuivuusasteittain eri vuodenaikoina.
 Appendix 5. Length distribution of whole tree chips made with drum and conedrum chippers, by chipper, tree species and degree of dryness in various seasons.

Hakkuri Chipper	Vuoden- aika Season	Näytteitä, kpl Number of samples	>45 Kapulat Sticks	Pituusjake, mm — Fraction of length, mm			
				32—45 Karkea jake Rough fraction	13—32 Hyväksyt- ty jake Accepted fraction	6—13 Välijake Middle fraction	<6 Hienojake Fine fraction
Hakelaji ja sen kuivuusaste Kind of chips and its degree				% tuoremassasta — Per cent of green weight			
Algol							
Mänty — Pine							
Tuore — Green	Kesä Summer	10	0,9	4,3	48,9	29,5	16,4
Ylivuotinen Brown	Kesä Summer	9	0,2	1,8	39,0	37,5	21,5
Bruks 1001 CT							
Mänty — Pine							
Tuore — Green	Kesä Summer	6	1,4	7,1	50,9	21,4	19,2
Koivu — Birch							
Tuore — Green	Kesä Summer	4	3,1	12,5	62,4	15,2	6,8
TT 910 R							
Koivu — Birch							
Tuore — Green	Kesä Summer	9	3,5	9,8	56,9	20,0	9,8
	Talvi Winter	10	1,6	3,2	47,9	27,6	19,7
Pete 1000							
Mänty — Pine							
Tuore — Green	Talvi Winter	15	2,5	8,6	53,3	23,0	12,6

Liite 6. TT 1000 TU- ja TS-laikkahakkureilla tehdyn metsähakkeen pituusjakou-
ma hakelajeittain eri vuodenaikoina.
*Appendix 6. Length distribution of forest chips made with TT 1000 TU and TS disc
chippers, by kind of chips in various seasons.*

Hakelaji <i>Kind of chips</i>	Vuoden- aika <i>Season</i>	Näytteitä, kpl <i>Number of samples</i>	>45 Kapulat <i>Sticks</i>	Pituusjake, mm — <i>Fraction of length, mm</i>			
				32—45 Karkea jake <i>Rough fraction</i>	13—32 Hyväksyt- ty jake <i>Accepted fraction</i>	6—13 Välijake <i>Middle fraction</i>	<6 Hienojake <i>Fine fraction</i>
				% tuoremassasta — <i>Per cent of green weight</i>			
Mäntykokopuu <i>Pine whole tree</i>	Kesä <i>Summer</i>	4	0,9	6,8	41,9	25,5	23,3
	Talvi <i>Winter</i>	6	3,7	11,6	46,5	21,3	16,9
Kuusikokopuu <i>Spruce whole tree</i>	Talvi <i>Winter</i>	4	5,2	14,2	46,1	15,9	10,8
Koivukokopuu <i>Birch whole tree</i>	Kesä <i>Summer</i>	20	3,8	13,6	56,8	15,8	9,2
	Talvi <i>Winter</i>	9	2,8	13,9	56,4	18,9	8,0
Leppäkokopuu <i>Alder whole tree</i>	Kesä <i>Summer</i>	11	5,6	20,6	57,0	12,4	4,4
	Talvi <i>Winter</i>	12	5,1	18,5	58,1	12,6	5,7
Mäntyranka <i>Pine tree length</i>	Kesä <i>Summer</i>	14	3,0	12,5	58,1	21,7	4,7
	Talvi <i>Winter</i>	3	1,7	8,7	65,9	18,4	5,3
Koivuranka <i>Birch tree length</i>	Talvi <i>Winter</i>	5	5,1	12,5	56,2	19,2	7,0
Leppäranka <i>Alder tree length</i>	Kesä <i>Summer</i>	5	7,8	24,7	63,1	8,7	3,5
	Talvi <i>Winter</i>	10	4,0	17,4	57,2	13,5	7,9
Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	Kesä <i>Summer</i>	15	2,9	16,3	68,6	10,5	1,7
	Talvi <i>Winter</i>	16	6,1	20,8	53,8	13,3	6,0

Liite 7. Rumpuhakkurilla ja vasaramyllymurskaimella tehdyn polttohakkeen pituusjakauma hakkureittain ja hakelajeittain eri vuodenaikoina.
Appendix 7. Length distribution of forest chips made with the drum chipper and hammermill cross by chipper and kind of chips in various seasons.

Hakkuri ja hakelaji <i>Chipper and kind of chips</i>	Vuoden- aika <i>Season</i>	Näytteitä, kpl <i>Number of samples</i>	>45 Kapulat <i>Sticks</i>	Pituusjake, mm — <i>Fraction of length, mm</i>				% tuor­ massasta — <i>Per cent of green weight</i>
				32—45 Karkea jake <i>Rough fraction</i>	13—32 Hyväksyt- ty jake <i>Accepted fraction</i>	6—13 Välijake <i>Middle fraction</i>	<6 Hienojake <i>Fine fraction</i>	
TT 910 R								
Koivuranka <i>Birch tree length</i>	Kesä <i>Summer</i>	11	9,6	16,9	49,2	14,6	9,7	
Vihreä hakkuutähde								
<i>Green slash</i>	Kesä <i>Summer</i>	19	3,5	5,7	41,3	23,0	26,5	
	Talvi <i>Winter</i>	14	1,7	2,4	25,3	36,5	34,1	
Lokomo MS9								
Vesakko — <i>Sprouts</i>	Kesä <i>Summer</i>	10	8,1	8,7	36,8	28,5	17,9	
Vihreä hakkuutähde								
<i>Green slash</i>	Talvi <i>Winter</i>	6	7,7	5,2	37,2	24,3	25,6	
Ruskea hakkuutähde								
<i>Brown slash</i>	Kesä <i>Summer</i>	19	6,0	4,6	23,7	23,1	42,6	
	Talvi <i>Winter</i>	11	4,0	7,8	31,5	26,3	30,4	

Liite 8. Metsähakkeen paksuusjakauma hakelajeittain ja kuivuuasteittain eri vuodenaikoina eri hakkureilla tehtynä. Ainespuuta sisältävästä puusta tehty hake.
 Appendix 8. Thickness distribution of forest chips by kind of chips and degree of dryness in various seasons, when the chips are made with various chippers. Chips made of wood containing commercial pulp wood.

Hakelaji ja kuivuuaste <i>Kind of chips and degree of dryness</i>	Vuodenaika <i>Season</i>	Hakkuri <i>Chipper</i>	Näytteitä kpl <i>Number of samples</i>	Paksuusjake, mm — <i>Fraction of thickness, mm</i>		
				>8 <i>Over thick fraction</i>	2—8 <i>Hyväksytty jake Accepted fraction</i>	<2 <i>Hieno- jake Fine fraction</i>
				% tuoremassasta — <i>Per cent of green weight</i>		
Mäntykokopuu <i>Pine whole tree</i>						
Tuore — <i>Green</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	3	30,5	57,5	12,0
		Algol	1	33,0	52,3	14,7
	Talvi — <i>Winter</i>	Bruks 1001 CT	1	29,1	56,7	14,2
		TT 1500 LP	2	10,8	63,6	25,6
Ylivuotinen — <i>Brown</i>	Kesä — <i>Summer</i>	Pete 1000	2	35,0	46,9	18,1
	Talvi — <i>Winter</i>	Algol	1	26,9	53,1	20,0
Ylivuotinen — <i>Brown</i>	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1500 LP	1	13,1	71,9	15,0
Kuusikokopuu <i>Spruce whole tree</i>						
Tuore — <i>Green</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	1	34,6	52,4	13,0
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1500 LP	3	16,2	54,5	29,3
Ylivuotinen — <i>Brown</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	1	17,7	69,1	13,2
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1500 LP	2	15,4	69,7	14,9
Koivukokopuu <i>Birch whole tree</i>						
Tuore — <i>Green</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	5	28,0	62,7	9,3
		TT 910 R	1	26,1	59,9	14,0
		Bruks 1001 CT	1	28,8	60,2	10,4
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1500 LP	7	11,1	71,2	17,7
TT 910 R		1	13,0	53,0	24,0	
Ylivuotinen — <i>Brown</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	1	25,7	59,0	15,3
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1500 LP	3	25,0	67,3	7,7
Leppäkokopuu <i>Alder whole tree</i>						
Tuore — <i>Green</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	1	19,3	74,3	6,6
Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>						
Tuore — <i>Green</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1500 LP	1	19,5	77,2	3,3

Liite 9. Metsähakkeen paksuusjakauma hakelajeittain eri vuodenaikoina eri hakkureilla tehtynä.

Ainespuuta pienemmästä, ylivuotisesta puusta tehty hake.

Appendix 9. Thickness distribution of forest chips by kind of chips in various seasons, when the chips are made with various chippers. Chips made of brown wood smaller than commercial pulpwood.

Hakelaji <i>Kind of chips</i>	Vuodenaika <i>Season</i>	Hakkuri <i>Chipper</i>	Näytteitä kpl <i>Number of samples</i>	Paksuusjake, mm — <i>Fraction of thickness, mm</i>		
				>8 <i>Over thick fraction</i>	2–8 <i>Hyväksytty jake Accepted fraction</i>	<2 <i>Hienoake Fine fraction</i>
% tuoremassasta — <i>Per cent of green weight</i>						
Mäntykokopuu <i>Pine whole tree</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1000 TS	1	30,3	60,4	9,3
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	1	32,0	62,7	5,3
Kuusikokopuu <i>Spruce whole tree</i>	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	1	45,1	50,3	4,6
Koivukokopuu <i>Birch whole tree</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1000 TU	1	36,5	57,8	5,7
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	2	21,2	66,6	12,2
Leppäkokopuu <i>Alder whole tree</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1000 TU	3	53,3	41,3	5,4
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	2	44,0	49,3	6,7
Mäntyranke <i>Pine tree length</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1000 TU	1	29,3	68,8	1,9
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	1	23,1	72,9	4,0
Koivuranka <i>Birch tree length</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 910 R	1	9,6	71,9	18,5
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	1	22,9	67,3	9,8
Leppäranka <i>Alder tree length</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1000 TU	2	48,2	46,5	5,3
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	4	29,4	64,7	5,9
Koivukuitupuu <i>Birch whole tree</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 1000 TU	1	43,5	55,6	0,9
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 1000 TU	2	39,7	56,1	4,2
Vesakko <i>Sprouts</i>	Kesä — <i>Summer</i>	Lokomo MS9	1	32,3	49,3	18,4
Vihreä hakkuutähde ¹ <i>Green slash</i>	Kesä — <i>Summer</i>	TT 910 R	2	4,1	52,9	43,0
	Talvi — <i>Winter</i>	TT 910 R	1	3,2	52,6	44,2
		Lokomo MS9	1	40,6	36,2	23,2
Ruskea hakkuutähde <i>Brown slash</i>	Kesä — <i>Summer</i>	Lokomo MS9	2	29,6	30,8	39,6
	Talvi — <i>Winter</i>	Lokomo MS9	1	25,2	56,9	31,7

¹ Hakepuu tuoretta — *Green chipwood*

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- No 663 Räisänen, Hannu, Laine, Lalli, Kero, Ilkka & Kaleva, Tapio: Alustavia tutkimustuloksia hyönteis- ja sienituhoista pystykaraisuissa männiköissä.
Preliminary study on insect and fungal damage in pruned Scots pine stands.
- No 664 Laasasenaho, Jouko & Päivinen, Risto: Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta.
On the checking of inventory by compartments.
- No 665 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu 1985.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1985.
- No 666 Valsta, Lauri: Mänty-rauduskoivusekametsikön hakkuuohjelman optimointi.
Optimizing thinnings and rotation for mixed, even-aged pine-birch stands.
- No 667 Lipas, Erkki: Maan ravinnetila siemenviljelyksillä.
Soil fertility levels in Finnish seed orchards.
- No 668 Uusvaara, Olli: Sahanhakkeen painomittaus.
Weight scaling of sawmill chips.
- No 669 Kortesharju, Jouko & Mäkinen, Yrjö: Vaotuksen, lannoituksen ja katteiden vaikutus hillaan karuilla luonnon-tilaisilla soilla.
The effect of furrowing, fertilization, and mulching on cloudberry (*Rubus chamaemorus*) on virgin oligotrophic mires.
- No 670 Jäppinen, Jukka-Pekka, Hotanen, Juha-Pekka & Salo, Kauko: Marja- ja sienisadot ja niiden suhde metsikkö-tunnuksiin mustikka- ja puolukka-tyypin kankailla Ilomantsissa vuosina 1982—1984.
Yields of wild berries and larger fungi and their relationship to stand characteristics on MT and VT-type mineral soil sites in Ilomantsi, eastern Finland, 1982—1984.
- No 671 Parviainen, Jari & Antola, Jukka: Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa männynistutuksissa.
The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock plantations.
- No 672 Onttinen, Sirpa: Metsurin työvälinekustannukset 1985.
Forest workers' equipment costs in Finland in 1985.
- No 673 Gustavsen, Hans Gustav & Päivänen, Juhani: Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa.
Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland.
- No 674 Mikkola, Kari & Sepponen, Pentti: Kasvupaikkatekijöiden ja kasvillisuuden suhteet Luoteis-Enontekiön tunturikoivikoissa.
Relationships between site factors and vegetation in mountain birch stands in northwestern Enontekiö.
- No 675 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1984—1986.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1984—1986.
- No 676 Keskitalo, Pentti & Sepponen, Pentti: 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 ratapölkkyaihoiden 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.

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

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

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0775-1
ISSN 0015-5543