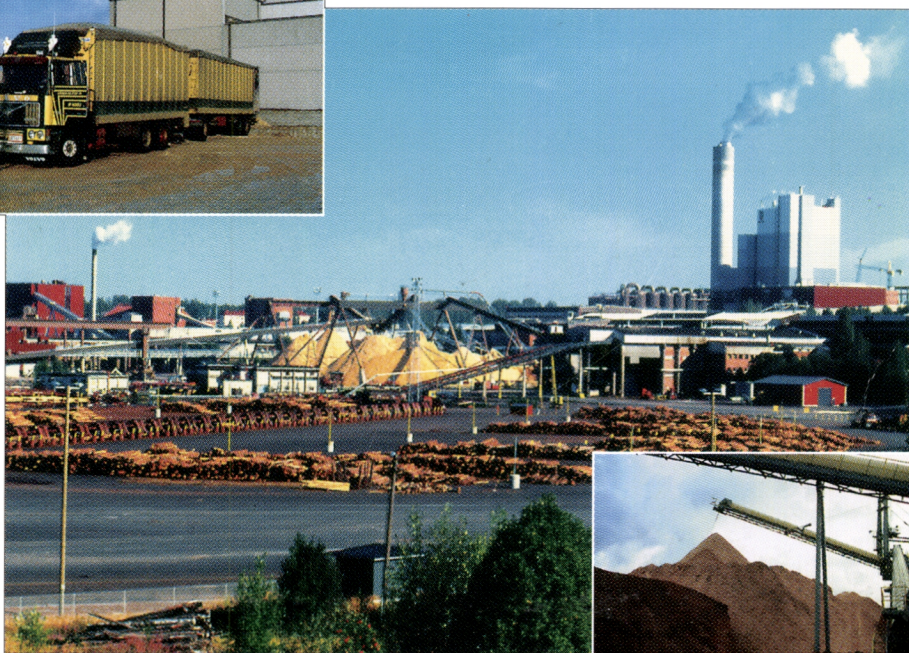


16. 10. 99

Teollisuushakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet



Jari Lindblad, Erkki Verkasalo

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
20020

06.10.99

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 747, 1999

Teollisuushakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet

Jari Lindblad
Erkki Verkasalo

JOENSUUN TUTKIMUSASEMA

Lindblad, J & Verkasalo, E. 1999. Teollisuushakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 747. 48 s. + liitteet 9 s. ISBN 951-40-1698-X. ISSN 0358-4283.

Tässä tutkimuksessa teollisuushakkeella tarkoitetaan massa- ja paperiteollisuuden raaka-aineeksi käytettävää mänty- ja kuusisahanhaketta, koivuvanerihaketta ja parunveistohaketta (mänty ja kuusi). Tavoitteena oli selvittää hakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet (kuivamassa/tuoretilavuus), tiheyden alueellinen ja tukkiraaka-aineesta johtuva sekä hakekuormien välinen vaihtelu. Kuiva-tuoretiheyksistä voidaan edelleen laskea hakkeen kuivamassan ja kiintotilavuuden väliset muuntokertoimet. Nykyisin käytössä olevat muuntokertoimet perustuvat Metsäntutkimuslaitoksen 1980-luvulla tekemiin selvityksiin. Tukkien koon ja laadun, puunhankinnan sekä sahauksen ja sorvauksen tekniikan ja eräiden muiden olosuhteiden muuttumisen takia kyseiset kertoimet eivät enää ole paikkansapitäviä. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella arvioidaan muuntokertoimien muuttamisen tarpeellisuus.

Tutkimuksen aineisto hankittiin yhdeksältä massa- tai paperitehtaalta ympäri Suomea, joista eteläisimmät sijaitsevat Raumalla ja Lappeenrannassa ja pohjoisimmat Kemissä ja Kajaanissa. Pääosa 647 näytteen aineistosta kerättiin autolla, osa junalla toimitetusta hakkeesta. Mäntysahanhakkeen haketoimittajien hankinta-alueet kattoivat lähes koko maan aina männyn metsärajalle saakka. Kuusisahanhakkeen osalta hankinta-alueet peittivät hyvin Oulun läänin eteläpuolisen osan maasta. Tätä pohjoisempana kuusen teollinen sahaus on vähäistä. Sekä parunveisto- että koivuviiluhakkeen toimittajia oli tutkimuksessa mukana kaksi. Kuiva-tuoretiheydet määritettiin pääosin kolmessa kaupallisessa laboratoriossa SCAN-CM 43:95 -standardin mukaisella menetelmällä.

Koko aineiston keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli mäntysahanhakkeella 430, kuusisahanhakkeella 404 ja koivuviiluhakkeella 496 kg/m³. Parrunveistohakkeen tiheys ei poikennut sahanhakkeesta. Mäntysahanhakkeen tiheydessä oli selvä ero Etelä-Suomen (435 kg/m³) ja Pohjois-Suomen (407 kg/m³) välillä, minkä vuoksi ko. alueille suositellaan omia muuntokertoimia. Kuusisahanhakkeen tiheydessä eroa oli Länsi-Suomen ja Savo-Pohjois-Karjalan alueiden välillä, mutta eron vähäisyyden ja aluejaon epämääräisyyden vuoksi kuuselle suositellaan yhtä muuntokerrointa. Koivulle yksi kerroin on perusteltu pienen näytemäärän vuoksi. Tätä voidaan perustella myös sillä, että Länsi-Suomessa sijaitsee vain kaksi Suomen vaneritehtaista.

Avainsanat: hake, tiheys, mittausta, painomittaus, muuntokertoimet.

Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, puhelin (013) 2514000, faksi (013) 251 4111, sähköposti jari.lindblad@metla.fi, erkki.verkasalo@metla.fi.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, hanke 7027.

Hyväksyntä: tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 2.9.1999.

Tilaukset: : Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, puhelin (013) 251 4000, faksi (013) 251 4111.

Lindblad, J. & Verkasalo, E. 1999. Basic density and conversion factors for weight scaling of industrial wood chips. Finnish Forest Research Institute, Research Paper 747. 48 p. + App. 9 p. ISBN 951-40-1698-X. ISSN 0358-4283.

In this study, industrial wood chips is defined to cover saw mill chips from pine and spruce logs, veneer chips from birch plywood logs and square timber chips from pine and spruce logs, all used for raw materials of pulp and paper industries. The aim of the study was to determine the means of and load-to-load variations in the basic density of the before-mentioned sorts of wood chips in Finland, and the levels of variation in basic density due to geographic region and log dimensions. Furthermore, conversion factors from dry weight to solid volume under bark were determined. If needed, related conversion factors to solid volume over bark can be calculated based on the average bark percentages of roundwood assortments in comparison.

Current conversion factors are based on the investigations of the Finnish Forest Research Institute from the 1980's. Consequently from the changes in the dimensions and quality of the logs, technical operations in timber logging and processing and some other features of timber utilisation, the before-mentioned conversion factors are not obviously valid any longer. Based on the results of this study, recommendations are given for the need to change the conversion factors.

The study materials, 647 samples of wood chips in total, were collected at nine pulp and paper mills in Finland, of them the southernmost in Rauma and Lappeenranta and the northernmost in Kemi and Kajaani. The samples were taken in conjunction of unloading chip loads, most of them from trucks and the rest from railway wagons. The wood procurement districts of the suppliers of pine saw mill chips covered nearly the entire country upto the northern timber line of Scots pine, and those of spruce saw mill chips covered the southern half of the country upto 65 degrees northern latitude; saw milling spruce is uncommon at the more northern districts. Two suppliers of both square timber chips and birch veneer chips were included in the study. Basic density of the chip samples was measured in accordance with the SCAN-CM 43:95 testing standard, mainly in three commercial laboratories.

For the entire material, the means of the basic density were 430 kg per m³ for pine saw mill chips, 404 kg per m³ for spruce saw mill chips and 496 kg per m³ for birch veneer chips. Basic density of square timber chips was at the similar level to saw mill chips. For pine saw mill chips, a statistically significant difference was observed in basic density between Southern and Northern Finland (435 kg per m³ vs. 407 kg per m³). Accordingly, separate conversion factors were recommended for pine saw mill chips for these districts. For spruce saw mill chips, a difference was observed in basic density between Western and Eastern Finland. However, due to the relatively small difference and the vague geographic division, a common conversion factor was recommended for spruce saw mill chips in southern part of the country. One conversion factor is well-motivated for birch veneer chips, because of the relatively limited wood procurement area of logs and the small sample in this study.

Keywords wood chips, basic density, measurement, weight scaling, conversion factors

Authors' adress Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, P.O. Box 68, FIN-80101 Joensuu, Finland

Tel +358-13-2514000 **Fax** +358-13-2514111 **E-mail** jari.lindblad@metla.fi, erkki.verkasalo@metla.fi

Published and orders Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, project 7027

Accepted 2 September 1999 by Matti Kärkkäinen, Research Director.

Alkusanat

Osuuskunta Metsäliitosta otettiin yhteyttä Metsäntutkimuslaitokseen syksyllä 1998 mahdollisuuksista päivittää teollisuushakkeen painomittauksessa tarvittavat muuntokertoimet siten, että ne olisivat käytettävissä kesällä 1999. Hanke muodostui yhteistutkimukseksi, jonka osapuolia olivat Metsäntutkimuslaitoksen lisäksi Osuuskunta Metsäliitto, UPM-Kymmene Oyj Metsä ja Stora Enso Oyj Metsäosasto. Metsäntutkimuslaitos nimesi Erkki Verkasalon Joensuun tutkimusasemalta vastaamaan tutkimuksen suunnittelusta ja toteutuksesta.

Tutkimukselle muodostettiin johtoryhmä tammikuussa 1999. Tilaajia johtoryhmässä edustivat Risto Lilleberg ja Kosti Kukkonen Oy Metsä-Botnia Ab:sta, Jukka Ouni UPM-Kymmene Oyj:sta, Heikki Öhman Wisaforest Oy:sta ja Matti Niiranen Stora Enso Oyj:sta. Metsäntutkimuslaitoksesta johtoryhmään kuuluivat professori Erkki Verkasalo ja apulaistutkija Jari Lindblad.

Haketta toimittavien yritysten avustuksella saatiin taustatietoja hakkeen valmistustavasta ja hakeraaka-aineen alkuperästä. Hakkeen toimittajien ja -kuljettajien avustuksella saatiin hake-eräkohtaisia tietoja. Yhtiöiden oma henkilökunta vastasi tutkimuksen aineiston keräämisestä tehtailla. Pääosa näytteistä analysoitiin yhtiöiden laboratorioissa mutta huomattavan osan laboratoriotöistä teki Lännen Laboratoriot Oy Raumalla. Verkasalo suunnitteli tutkimuksen sekä ohjasi ja valvoi sen toteutusta. Lindblad vastasi tutkimuksen operatiivisesta toteutuksesta sekä laati yritysraportin ja tämän julkaisun käsikirjoitukset, jotka kirjoittajat viimeistelivät.

Esitämme parhaat kiitokset johtoryhmän jäsenille sekä kaikille muille tutkimuksen valmistumiseen työpanoksellaan myötävaikuttaneille.

Joensuussa, elokuussa 1999

Jari Lindblad

Erkki Verkasalo

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 TEOLLISUUSHAKE	10
2.1 Hakkeen valmistus	10
2.2 Hakkeen mittaus	11
2.3 Hakkeen laatuvaatimukset ja hinnoitteluperusteet.....	13
3 PUUAINEN TIHEYS.....	16
3.1 Kuiva-tuoretiheyden määritelmä.....	16
3.2 Tiheyden vaihtelu rungon eri osissa.....	16
3.3 Kasvunopeuden ja kasvupaikan vaikutus tiheyteen	17
3.4 Reaktiipuun, nuorpuun ja oksien tiheys	18
3.5 Sahanhakkeen kuiva-tuoretiheys	18
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	21
4.1 Aineisto	21
4.1.1 Tehtaat	21
4.1.2 Hakkeen toimittajat.....	21
4.2 Menetelmät.....	23
4.2.1 Näytteiden keruu.....	23
4.2.2 Kuiva-tuoretiheyden määrittäminen	24
4.2.2 Tulosten analysointi.....	25
4.2.3 Taulukoitujen tunnuslukujen laskenta ja tulkinta.....	26
5 TULOKSET	28
5.1 Mäntysahanhake	28
5.2 Kuusisahanhake.....	32
5.3 Parrunveistohake	36
5.4 Koivuvanerihake	36
5.5 Käyttösuhteen vaikutus mänty- ja kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheyteen	36
6 TULOSTEN TARKASTELU.....	38
KIRJALLISUUS.....	46
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Teollisuushakkeella tarkoitetaan massa-, paperi- ja levyteollisuuden raaka-aineeksi käytettävää mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteena valmistettavaa haketta. Tässä tutkimuksessa siihen luetaan mänty- ja kuusisahanhake, koivuvaneri- ja parrunveistohake (mänty ja kuusi).

Teollisuushake on mitattu 1980-luvun puolivälistä lähtien yhä useammin painomittauksella hakkeen vastaanottavalla tehtaalla. Nykyisin painomittaus on vakiintunut hakkeen mittausten menetelmä kaikilla Suomen massa- ja paperitehtailla. Aiemmin käytetyn irto- ja kiintotilavuuteen perustuvan mittauksen heikkouksina ovat hakkeen tiiviyyden suuri vaihtelu mm. raaka-aineen ominaisuuksien ja erilaisen valmistus- ja kuljetustekniikoiden vuoksi sekä hakekuorman irtotilavuuden määrityksen osittainen subjektiivisuus. Ainoastaan silloin, kun tehtaan ajoneuvo-vaaka ei jostain syystä ole käytettävissä, tarvitaan varamenetelmänä kehys- eli irtotilavuusmittausta.

Kehityksen seurauksena hakkeen käyttäjät ovat periaatteessa kiinnostuneita vain kuivamassasta, kun taas toimittajat eli sahat, vaneritehtaat ja veistämöt tarvitsevat lisäksi tiedot kiintotilavuudesta. Puutavaran mittaustilasta puutavaran mittaussuure on todellinen kuorellinen tilavuus. Molemmat osapuolet tarvitsevat kuivamassan ja tilavuuden välisiä muuntokertoimia hinta-, kustannus- ja tuottovertailuja varten. Lisäksi toimittajat tarvitsevat kertoimia puutavarakirjanpitoa varten sekä siirtohintojen ja joskus myös kuljetus- ja tehdaskäsitte-lymaksujen määrittämiseen.

Hakkeen muuntokertoimella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa toimitustilassa olevan hakkeen kiintotilavuuden suhdetta sen massa-aineeseen, yksikkönä m^3/tonni . Kääntäen kysymys on hakkeen kuiva-tuoretiheydestä, jonka yksikkönä on kg/m^3 . Kuoren osuus hakkeessa saa olla nykyisten laatuvaatimusten mukaisesti korkeintaan 1 % hakkeen kuivamassasta (Sipi 1998), joten hakkeen kuiva-tuoretiheys voidaan pääsääntöisesti rinnastaa sen raaka-aineena olevan puuaineen (ml. oksapuu) kuiva-tuoretiheyteen.

Nykyisin käytössä olevat teollisuushakkeen muuntokertoimet on määritetty laskennallisesti Olli Uusvaaran Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvulla tekemien selvitysten perusteella. Toimintatavat ja olosuhteet ovat muuttuneet noista ajoista siinä määrin, että kertoimet eivät ilmeisesti enää ole paikkansapitäviä. Tehtailla tehtyjen mittausten ja puunkulutuslukujen perusteella on arvioitu nykyisten kertoimien antavan kiintotilavuudelle yliarviota.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on määrittää Suomessa sijaitseville massa- ja paperitehtaille kotimaan mekaanisilta jalostuslaitoksilta toimitettavan mänty- ja kuusisahanhakkeen ja rajoitetussa määrin koivuvaneri- ja parrunveistohakkeen kuiva-tuoretiheys sekä kuivamassan ja kiintotilavuuden välinen muuntokerroin. Lisäksi selvitetään kuiva-tuoretiheyden alueellinen (mekaanisten jalostuslaitosten hankinta-alueet), tukkiraaka-aineesta johtuva (pikkutukki/normaalitykki, mahdollisuuksien mukaan läpimittaluokka) ja yksittäisten hakekuormien välinen vaihtelu. Tulosten perusteella tehdään päätelmät nykyisin käytössä olevien keskimääräisten kertoimien muuttamisen tarpeellisuudesta.

2 TEOLLISUUSHAKE

2.1 Hakkeen valmistus

Tuotelähtöisen ajattelutavan mukaisesti myös massa- ja paperiteollisuudessa raaka-ainevirtoja ohjataan tuotevaatimusten perusteella. Hyvän hakkeen ominaisuudet vaihtelevat käyttökohteen mukaisesti. Parhaiden hakkeen ominaisuuksien määrittäminen kuhunkin kuituprosessiin on myös mekaanista metsäteollisuutta kiinnostava asia. Sahanhake on selluteollisuuden parasta raaka-ainetta (Heiskanen ja Paa-janen 1997).

Sahateollisuudessa yhden sahatavarakuutiometrin valmistamiseen tarvitaan yleensä 2,0–2,2 m³ tukkia; pikkutukkeja sahattaessa tämä puun käyttösuhde voi olla jopa 3,0. Normaalityyppisessä sahatavaraa saadaan keskimäärin 45–50 % sahatavaraa ja sivutuotteina 28–32 % haketta, 10–15 % purua ja 10–12 % kuorta (Sipi 1998). Käyttösuhteen vaihtelut sahojen välillä johtuvat raaka-aineen koosta ja laadusta, sekä sahan teknisestä tasosta ja tuotannon suunnittelusta. Tukkien koon kasvaessa käyttösuhde tavallisesti paranee. Käyttösuhdetta alentavat laatuviat, kuten lenkous, mutkat, erilaiset pintaviat ja halkeamat. Pienet sahat kykenevät yleensä suuria paremmin ottamaan huomioon raaka-aineen ominaisuudet ja siten vaikuttamaan käyttösuhteeseen positiivisesti. Korkeatasoiset sahauslaitteet mahdollistavat raaka-aineen parhaan mahdollisen hyödyntämisen mm. pienien sahausrakojen ja hyvän sahatavaran mittatarkkuuden kautta. Sahat eivät välttämättä pyri käyttösuhteen minimointiin, vaan tavoitteena voi olla hyvälaatuisen hakkeen valmistaminen. Pyrkiminen mahdollisimman täysisärmäiseen sahatavaraan lisää hakkeen määrää (Sipi 1998).

Sahan sivutuotteiden määrä riippuu luonnollisesti sahatavaran tuotantomäärästä. Massa- ja paperiteollisuus saa noin 15 % tarvitsemastaan raaka-aineesta sahatavaran sivutuotteista (esim. Mikkola 1997). Vaikka hakkeen saanto sahan käyttämästä raaka-aineesta on vähintään 25 %, sen osuus sahan myyntituotoista on keskimäärin vain 13 % (Sipi 1998). Sivutuotteiden osuus sahan kokonaistuotoista on sinänsä suhteellisen pieni, mutta kannattavuuden kannalta oleellinen. Sivutuotteiden merkitys on suuri esimerkiksi huonon sahatavaran markkinatilanteen aikana. Sahanhakeesta 98 % menee massa- ja paperiteollisuuden teollisuuden käyttöön (Sipi 1998). Koska sahanhakeella on useimmiten vain yksi merkittävä käyttötarkoitus, hinta määräytyy tavallisesti massa- ja paperiteollisuuden tarjouksen perusteella (Sahateollisuus 1996).

Haketta syntyy sahausprosessissa suoraan käytettäessä pelkkahakkureita sekä profilointi- ja särmäkursoja (Sipi 1998). Pelkkahakkureissa käytetään vastakkain olevia, kartiomaisia teräpyöriä, joissa on talttamaisia teriä. Se ei varsinaisesti ole hakkeen vaan sahatavaran valmistukseen tarkoitettu kone (Uusvaara ja Heiskanen 1975). Pelkkahakkureiden käyttö lisää hakkeen määrää ja niillä valmistettu hake on erittäin tasalaatuista (Sahateollisuus 1986).

Sahauksessa syntyvät rimat ja pinnat sekä esitasauksen tuoreet tasauspätkät haketetaan erillisillä rumpu- tai laikkahakkureilla (Sipi 1998). Laikka- eli kie-

kohakkureilla puu painetaan pyörivää teräpyörää vasten. Hakkureita käytetään tavallisimmin rimojen hakettamiseen. Rumpuhakkureissa on lieriömäinen teräpyörä, johon terät on kiinnitetty akselin suuntaisesti. Puu voidaan syöttää hakkuriin joko akselin suuntaisesti tai pää edellä.

Jotta sellun valmistuksessa keittoneste imeytyisi puuaineeseen mahdollisimman täydellisesti, kaikenlaatuisesta sahausjätteistä tulisi kyetä tekemään mahdollisimman tasapituista ja ohutta lastua (Uusvaara ja Heiskanen 1975). Hake on seulottava ennen massa- tai paperitehtaalle toimittamista tasalaatuiseen palakokoon pääsemiseksi. Tavallisimmin käytetty seulatyyppi on hiertävä tasoseula, jonka levyjen reikäkoot määritetään hakkeen käyttäjän vaatimusten mukaan (Uusvaara ja Heiskanen 1975, Sipi 1998). Haketta ei sahalaitoksilla varastoida pitkäaikaisesti, minkä vuoksi hakesiilot on mitoitettu vain noin 2-3 vuorokauden tuotantoa varten. Tavallisin hakkeen kuljetusmuoto käyttäjälle on autokuljetus, mutta myös rautatiekuljetus on yleistä. Tehtailla hake varastoidaan varastokasoihin esimerkiksi asfaltti- tai betonikentälle (Uusvaara ja Heiskanen 1975).

Vaneriteollisuudessa käyttösuhte on 3,0–3,5 eli puuraaka-aineesta 27–32 % käytetään varsinaiseen päätuotteeseen ja suurin osa menee sivutuotteiksi (Vaneriteollisuus 1985, Koponen 1995). Vanerin valmistustekniikoiden kehittymisestä huolimatta koivuraaka-aineen käyttösuhdetta ei pitkällä aikavälillä ole pystytty parantamaan kovin paljoa, koska sen laatu on samanaikaisesti heikentynyt. Havupuun osalta käyttösuhteet ovat sen sijaan parantuneet olennaisesti. Koivuvanerin valmistuksessa käytetystä raakapuusta 3,4 % menee tukkien katkaisuhäviöihin, 25,8 % tukkien pyöristys- ja sorvaushäviöihin ja 10 % purilaiksi (Vaneriteollisuus 1985, Koponen 1995). Näistä voidaan valmistaa selluhaketta. Kuivaleikkausjätettä, sahausreunoja ja hiontahäviöitä, joita ei hyväksytä tai ei kannata valmistaa selluhakkeeksi, on yhteensä noin 15 % kuorellisesta tilavuudesta. Sivutuotteiden määrät luonnollisesti vaihtelevat eri tehtaiden välillä riippuen valmistustekniikasta, erilaisista viilun talteenottopyrkimyksistä ja lopputuotteiden mittavalikoimasta (Vaneriteollisuus 1985, Koponen 1995).

Katkaisu- ja pyöristysjäte muodostavat suurimman ja merkittävimmän osan tuotannossa syntyvistä sivutuotteista. Katkaisu-, pyöristysjäte sekä purilaat käsitellään yleensä omilla hakkureillaan. Tavallisesti pöllinpäitä hakettaessa käytetään spiraalihakkuria ja pyöristysjätettä ja purilaita hakettaessa rumpu- tai laikkahakkuria (Vaneriteollisuus 1985). Purilashake on palakooltaan tasalaatuista ja täysin kuoretonta, mutta viiluhakkeen palakoko vaihtelee paljon ja joskus sen ongelmana on ollut myös suuri kuoripitoisuus (Uusvaara 1971).

2.2 Hakkeen mittaus

Vielä 1970-luvulla ja 1980-luvun puolivälissä hakkeen luovutusmittauksen suurena käytettiin irtto- eli kehystilavuutta, yksikkönä kuutiometri irtotilavuutta eli irtokuutiometri. Puutavaran mittaussäännön (Maa- ja metsätalousministeriö 1972) mukaan hake tuli mitata säännöllisen muotoisessa mittalaatikossa, mikä käytännössä tarkoitti hakkeen mittausta kuljetuksessa käytetyn kuormalavan tilavuuden

perusteella. Irtotilavuus muunnettiin kiintotilavuudeksi muuntokertoimella, joka perustui hakkeen tiiviyteen. Kuorman tiiviyteen vaikuttaa puuaineen tiheys ja kosteus, kuljetusmatka, kuormatilan suuruus sekä kuorman lastaustapa, hakkuri-tyyppi ja hakkeen palakoon jakauma (Uusvaara ja Heiskanen 1975). Näin ollen irtotilavuusyksikön todellisen raaka-aineen määrän arviointi oli epätarkkaa.

Koska hakkeen tilavuusmittaukseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, maksuperusteena on käytetty vuodesta 1986 kuivamassaa. Tilavuuteen nähden kuivamassa on luotettava ja yksiselitteinen mittayksikkö, mutta sen mittaus vaatii enemmän työvaiheita ja suuremman työpanoksen kuin tilavuuden mittaus. Massateollisuudelle kuivamassa myös ilmaisee tuotantoprosessissa hyödynnettävän puuaineen määrän tilavuutta paremmin (esim. Marjomaa ja Pietarinen 1996). Hakkeen kuivamassan määrittämisen vaiheet tehtaalla ovat seuraavat:

1. Hakekuorma, kuorma-auto tai junanvaunut, punnitaan ajoneuvovaa'alla tehtaalla puuvastaanotossa sekä kuormaa tuotaessa että tyhjänä. Punnitustulosten erotuksena saadaan nettopaino eli hakkeen tuoremassa.
2. Satunnaisotannalla valitaan kuormat, joista otetaan näytteet hakkeen kosteuden sekä hakkeen laatuominaisuuksien määrittämistä varten.
3. Hakenäytteistä määritetyn kosteuden perusteella saadaan hakkeen kuiva-ainepitoisuus hakkeen tuoremassasta.
4. Hakkeen kuivamassa on tuoremassan ja kuiva-ainepitoisuuden tulo.

Jokaisesta hakekuormasta mitataan tuoremassa ostajatehtaan puuvastaanotossa. Koska kuivamassa on hakkeen maksuperuste, tuoremassan ja kuiva-ainepitoisuuden määrittämisen on oltava riittävän tarkkoja kuivamassan laskemiseksi. Hake on tavallisesti kosteudeltaan tasalaatuista, mutta toisinaan kuorman sisälläkin saattaa olla suuria kosteuden vaihteluita (Uusvaara 1978). Yhden hakkeen toimitajan kuormien välinen keskimääräisen kosteuden hajonta on vähäinen. Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi on kosteusnäytteen oltava edustava, mihin päästään ottamalla kuormasta useita osanäytteitä. Vanerihakkeen keskimääräinen kosteus tehtaalle toimitettaessa on selvästi alempi kuin sahanhakkeen (Uusvaara 1978).

Tehtaalla hakkeen varastomuodostelman mittaukseen käytetään sekä irtotilavuuden että kuivamassan mittausta (Marjomaa ja Pietarinen 1996). Hakevaraston irtotilavuus voidaan määrittää kokemukseen pohjautuen silmävaraisesti tai laskemalla tilavuus hakemuodostelman mittojen perusteella tilavuuden yhtälöillä. Varastot ovat muodoltaan kartioita, katkaistuja kartioita tai aumoja, joiden pohjan muoto vaihtelee selvästi. Äärimittojen mittauksessa käytetään apuna esimerkiksi lasertekniikkaan perustuvia apuvälineitä. Tarkasti varastomuodostelman tilavuus kyetään selvittämään video- ja valokuvaustekniikkaan perustuvilla apuvälineillä, jolloin eri puolille sijoitetut kiinteät kamerat kuvaavat varastoa ja tilavuus määritetään laskentaohjelmistojen avulla. Tilavuuden määrittämismenetelmien virheet

syntyvät varaston äärimittojen mittauksessa tai irtotilavuuden muuntamisessa kiintotilavuudeksi muuntokertoimilla (Marjomaa ja Pietarinen 1996).

Hakevaraston tilavuuden määrittäminen kuivamassamenetelmällä perustuu varastoon tulevan ja siitä poistuvan hakkeen kuivamassan mittaukseen (Marjomaa ja Pietarinen 1996). Lasketut kuivamassat muutetaan kiintotilavuudeksi muuntokertoimilla. Kuivamassaan perustuvassa mittauksessa virhettä aiheuttavat vaakojen mittausvirheet sekä hake-erien että näytteiden mittauksessa, kosteuden mittausvirhe ja puuaineen tiheyden vaihtelu. Varastomuodostelman mittausmenetelmistä kuivamassaan perustuva menetelmä on kehystilavuuden mittaukseen nähden tarkempi (Marjomaa ja Pietarinen 1996).

Hakkeen keskimääräinen kiintotilavuusprosentti on ajoneuvokuormassa havupuilla noin 44 % ja koivulla noin 40 % (Sipi 1998). Tiiviyyteen vaikuttaa puulajin lisäksi mm. hakkeen kuljetusmatka ja kuljetustapa, palakoko ja palakokojakauma sekä puuaineen tiheys ja kosteus. Hakkeen irtotilavuuden kuivamassa on hakelajista riippuen keskimäärin 140–170 kg (Sipi 1998).

2.3 Hakkeen laatuvaatimukset ja hinnoitteluperusteet

Kemiallisen puumassan mahdollisimman suuren saannon ja tasaisen laadun edellytyksenä on keittoliuoksen tasainen imeytyminen hakkeeseen. Emäksisessä sulfaattikeitossa liuoksen imeytyminen puuhun on suunnilleen yhtä nopeaa kaikista kolmesta suunnasta (pituus, tangentti ja säde). Näin ollen hakkeen paksuus on pienimpänä dimensiona ratkaiseva tekijä keittoliuoksen tasaisessa ja nopeassa imeytymisessä. Hakkeen on saavutettava tietty minimipituus, jolla kuitujen katkeileminen ei enää vaikuta massan kuitupituuteen. Koska hakepaksuus riippuu hakkeen pituudesta, on hakkeen valmistus kompromissi, jossa pyritään riittävään hakepituuteen kuitenkin valmistamatta liian paksua haketta (Klemetti 1987).

1980-luvun lopulla hakkeen hinnoittelu- ja laatuohjetta uudistettiin. Ohjeen mukaan pituudeltaan 7–45 mm ja paksuudeltaan alle 8 mm haketta tulee olla perushintaisen hakkeen palakokojakaumassa vähintään 87 % kuivamassasta. Samanaikaisesti alitteen osuus (< 3 mm) saa olla korkeintaan 5 % ja ylitteen osuus (> 45 mm) korkeintaan 8 %. Näkyvin muutos aikaisempaan nähden oli hakkeen paksuusseulonnan lisääminen laaduntarkkailumenetelmään (Paajanen 1988). Kuorta perushintaisessa hakkeessa saa olla 1 % kuivamassasta (Sipi 1998).

Hakkeen lopullinen arvo laskutusjaksolla määräytyy hakkeen kuiva-ainemäärän ja laadun perusteella. Hakkeen maksuperusteena on kuiva-ainetonni, jonka perushintaa muutetaan hakkeen palakokojakauman ja kuoripitoisuuden mukaan (Heiskanen ja Paajanen 1997). Palakokoa ei määritetä jokaisesta kuormasta, vaan näytteet otetaan arvotuista otoskuormista. Otosprosentti määräytyy laskutusjaksolla toimitettavien hake-erien lukumäärän perusteella (Verkasalo 1990). Tästä huolimatta kosteusnäyte hakkeen kuivamassan selvittämiseksi otetaan jokaisesta kuormasta. Hakkeen toimittajat pystyvät vaikuttamaan hakkeen yksikköhintaan

Taulukko 1. Esimerkki palakokojakauman vaikutuksesta hakkeen hinnoitteluun (Heiskanen ja Paajanen 1997)

SEULAKOKO	HINTAKERROIN	JAKAUMA %	LAATUARVO
Reikäseula > 45 mm (ylipitkijae)	0,00	0,1	0,0
Rakoseula > 8 mm (ylipaksujae)	0,25	7,1	1,8
Reikäseula > 13 mm (suuri aksepti)	1,30	67,0	87,1
Reikäseula > 7 mm (pieni aksepti)	0,55	22,1	12,2
Reikäseula > 3 mm (tikkujae)	0,10	3,3	0,3
Pohja < 3 mm (purujae)	0,00	0,4	0,0
Laatuarvo			101,4

vain vähän, sillä lähes kaiken hakkeen käyttää massa- ja paperiteollisuus, jotka määrittelevät hakkeesta maksettavan hinnan. Saha voi vaikuttaa hakkeesta saamiinsa tuloihin hyvää haketta toimittamalla (Sahateollisuus 1986).

Palakokojakauman ja kuoripitoisuuden määritykset sekä hakenäytteiden ottaminen ko. määrityksiä varten tehdään pohjoismaisten SCAN –standardien mukaisesti. Näytteiden keruussa on otettava huomioon mahdolliset poikkeukset ja häiriöt tuotannossa tai esimerkiksi hakkeen lajittuminen kuljettimelta näytteitä kerätessä. Parhaaseen lopputulokseen päästään, kun analysoitava näyte koostuu useista osanäytteistä (Heiskanen ja Paajanen 1997).

Palakokojakauma määritetään SCAN-CM 40:94 -standardin (1994) mukaisella seulalla, joka koostuu sekä reikä- että rakoseulalevyistä. Ylimmän seulalevyn reikäkoko on 45 mm, jolla seulotaan ylisuuri jae, seuraavana 8 mm:n rakoseula, jolla selvitetään ylipaksun jakeen määrä. Pohjalle jää alle 3 mm:n pituinen purujae. Paras hintakerroin on 13–45 mm:n pituisella, alle 8 mm:n paksuisella hakkeella (Heiskanen ja Paajanen 1997). Palakokojakauman määrittämiseen tarvitaan 8–10 litran suuruinen hakenäyte, jota seulotaan 10 minuuttia. Taulukossa 1 on esitetty esimerkki palakokojakauman vaikutuksesta hakkeen hinnoitteluun.

Hakkeen kuoripitoisuus määritetään SCAN-CM 42:95 –standardin (1995) mukaisesti. Määrittäminen on työlästä, koska kuori erotetaan analysoitavasta näytteestä käsin (Heiskanen ja Paajanen 1997). Käsiteltävän näytteen suuruus vaihtelee tehtaittain, mutta todella hyvään tarkkuuteen pääseminen kuoripitoisuudessa vaatisi suuria, noin 15 litran suuruisia hakenäytteitä. Kustannussyistä ei ole tarkoituksenmukaista määrittää kuoren määrää jokaisesta kuormasta, vaan näytteet otetaan otannan mukaisesti (Hakkila ja Saikku 1972). Kuoriprosentti ilmoitetaan kuoren kuivamassan osuutena koko näytteen kuivamassasta. Nykyisten laatuvaatimusten mukaisesti hakkeessa sallitaan 1 % kuorta hakkeen kuivamassasta. Jos kuorta on tätä enemmän, perushintaa alennetaan prosenttiosuudella, joka on 6 kertaa yhden prosentin ylittävän prosenttiosuuden verran. Kun kuoren määrä on yli 3 %, hakkeesta maksetaan korkeintaan polttohakkeen hinta (Heiskanen ja Paajanen

1997). Kuoren määrä ei ole ongelma toimittajille kesällä, mutta talvella kuori on tavallista tiukemmin kiinni rungossa ja hakkeen keskimääräiset kuoripitoisuudet vastaavasti tavallista korkeammat (Hakkila ja Saikku 1972).

Hakkeen laatuun vaikuttavat sahaustekniikka, käytettävät laitteet sekä raaka-aine (Sipi 1998). Sahausteknisistä tekijöistä hakkeen ominaisuuksiin vaikuttavat sahausnopeus, terän pyörimisnopeus ja terän leikkuunopeus. Terän pyörimisnopeuden kasvaessa hakkeen lastun pituus lyhenee. Liian suuri leikkuunopeus näkyy hienojakeiden suurena osuutena ja vastaavasti leikkuunopeuden hidastaminen nostaa karkeiden jakeiden määrää (Sahateollisuus 1986).

Hakkeen ominaisuudet vaihtelevat käytettävissä olevien laitteiden ja niiden leikkaavien osien geometrian mukaan. Useimmilla hakkureilla suositeltavin hakkeen pituus on 22–24 mm (Heiskanen ja Paajanen 1997). Koska hakkeen pituudella voidaan säädellä myös hakkeen paksuutta, hakkeen pituuden nostaminen lisää nopeasti ylipaksun jakeen määrää mutta toisaalta pienentää hienojakeiden määriä.

Laitteiden kunnolla on suuri vaikutus hakkeen laatuun. Terän tylsyminen merkitsee tikku- ja purujakeiden osuuden kasvua. Terän kunnan merkitys korostuu talvella jäisen puun aikaan. Haketusominaisuuksiin vaikuttavat puun lujuusominaisuudet. Männyn ja kuusen lujuusominaisuudet ovat samankaltaisia, mutta koivun lujuusarvot ovat kauttaaltaan havupuita suuremmat. Puuaineen kosteuden laskiessa lujuus kasvaa ja elastisuus heikkenee, mistä on seurauksena hienojakeiden osuuden kasvu haketuksessa (Heiskanen ja Paajanen 1997).

Vuodenaika vaikuttaa haketustulokseen. Sulaan puuhun verrattuna jäänyt puu on kovaa ja haurasta, minkä vuoksi se murskautuu helposti haketettaessa. Hakkeen laadun parantamiseksi joudutaan hakkeen palakokoa kasvattamaan ja leikkuunopeutta mahdollisuuksien mukaan pienentämään talvella. Sahausasete vaikuttaa hakkeen palakokoon. Haketettaessa tukin pintaosaa pelkkahakkurilla ohuista reunakaistoista ei saada täysimittaista haketta. Lisäksi pelkkahaketuksessa silotusterillä purujakeen osuus kasvaa (Paajanen 1988).

Haketuksessa syntyneitä virheitä voidaan lieventää hakkeen seulonnalla (Paajanen 1988). Liian pitkät hakepalat voidaan erottaa ja kierrättää uudelleen haketukseen. Paksuusseulontaa sahoilla yleisesti käytössä olevilla tasoseuloilla ei voida suorittaa. Pienet neulajakeet erottuvat huonosti hakkeen seasta käytettäessä hiertäviä tasoseuloja (Paajanen 1988).

Sahanhake on suurimmaksi osaksi peräisin puun pintaosista, jossa kuidut ovat pitempiä ja soluseinämät paksumpia ja kesäpuuosuus suurempi kuin rungossa keskimäärin. Tavallisesti puun pintaosien tiheys on suurempi kuin rungon keskimääräinen tiheys. Koska sahanhake valmistetaan puun pintaosista, sen oksaisuus on vähäisempää kuin kuitupuuhakkeen (Sahateollisuus 1986).

3 PUUAINEN TIHEYS

3.1 Kuiva-tuoretiheyden määritelmä

Puuaineen massa ja tilavuuteen vaikuttaa olennaisesti puun sisältämän veden määrä, joten vertailukelpoisten tiheysarvojen mittaaminen ja laskeminen edellyttää yhdenmukaisia mittaustapoja. Puuaineen tiheyskäsitteistä kuiva-tuoretiheys on tarkkuutensa ja mitattavuutensa takia yleisin (Kärkkäinen 1985).

Kuiva-tuoretiheys lasketaan yhtälöstä:

$$R = \frac{m_0}{V_g}, \text{ jossa } R = \text{kuiva-tuoretiheys, kg/m}^3$$

$m_0 = \text{kuivamassa, kg}$
 $V_g = \text{tuoretilavuus, m}^3 \text{ (tilavuus kosteudessa puunsyiden kyllästymispisteen yläpuolella)}$

Puuaineen tiheys on ominaisuus, joka vaikuttaa useiden puusta valmistettävien tuotteiden laatuun. Tiheyden kasvaessa mm. taiputus-, puristus- ja vetolujuus sekä kovuus paranevat (Kärkkäinen 1985). Kuiva-tuoretiheys kertoo sellun ja mekaanisen massan valmistuksessa hyödyksi saatavan kuiva-ainemäärän tilavuusyksikköä kohti, jos uuteaineiden määrän oletetaan säilyvän vakiona (Hakkila 1966, Uusvaara 1972b). Saannon kannalta korkea tiheys on edullinen, mutta kevyen puun ohutseinäiset solut antavat paperille hyvän veto-, puhkais- ja taiputuslujuuden (esim. Hakkila ja Rikkonen 1970).

3.2 Tiheyden vaihtelu rungon eri osissa

Puuaineen tiheys vaihtelee rungossa sekä pituuden että poikkileikkauksen suunnassa. Tiheyteen ja sen vaihteluun vaikuttavat paitsi puulaji, myös puun ikä ja koko, kasvunopeus, kasvupaikan laatu ja geneettiset tekijät (Hakkila 1966, Uusvaara 1969b, Kärkkäinen 1985). Puun poikkileikkauksen suuntaiset tiheyden vaihtelut johtuvat lähinnä kasvunopeuden ja kesäpuuprosentin eroista sekä soluseinämien paksuuden vaihtelusta (Hakkila 1979).

Männyllä ja koivulla puuaineen tiheys kasvaa jatkuvasti ytimestä pintaan päin (Hakkila 1966, Kärkkäinen 1985). Järeissä mäntyrungoissa ytimen ja pinnan väliseksi tiheyseroksi 10 %:n suhteellisella korkeudella on havaittu 25–109 kg/m³. Maksimitiheys männyn poikkileikkauksessa saavutetaan noin sadan vuosiluston päässä ytimestä. Koivulla ytimen ja pinnan välillä on mitattu jopa 200 kg/m³:n tiheyseroja, mutta keskimääräiset erot ovat alle 100 kg/m³ (Kärkkäinen 1985).

Kuusella ei ole yhtä selkeää ja säännönmukaista tiheyden muutosta puun säteen suunnassa kuin männyllä ja koivulla (Hakkila 1966). Kuusen tiheys laskee

aluksi ytimestä pintaan päin, mutta alkaa pian kohota hitaasti puun pintaa kohti. Samankaltainen tiheyden muutos on havaittu kaikilla korkeuksilla poikkileikkauksessa, mutta tiheyden vaihtelut ovat vähäisiä mäntyyn verrattuna. Järeillä kuusilla pintaosien tiheydet ovat korkeita, sillä poikkileikkauksen tiheys kasvaa vielä 150 vuosiluston päässä ytimestä (Hakkila 1966).

Mikäli puuaineen tiheys kasvaa ytimestä pintaan päin, se tavallisesti alenee tyvestä latvaan päin (Kärkkäinen 1985). Männyllä tiheys on kannonkorkeudella noin 20 % korkeampi kuin 90 %:n suhteellisella korkeudella. Voimakkainta männyn tiheyden aleneminen on kannonkorkeudelta 10–20 %:n korkeudelle siirryttäessä (Hakkila 1966). Männyn tyviosan tiheydet ovat korkeita, mutta tyvilaajentuman tiheysarvot ovat ilmeisesti matalia johtuen vuosilustojen leveydestä. Raudusja hieskoivulla tiheyden muutos rungon pituussuunnassa on samansuuntainen kuin männyllä mutta huomattavasti vähäisempi. Tyviosan tiheys on rauduskoivulla noin 30 kg/m³ hieskoivua suurempi, mutta 80 %:n suhteellisella korkeudella tiheydet ovat samalla tasolla (Hakkila 1966).

Kuusen tiheyden on havaittu laskevan heikosti tyvestä latvaan (Kärkkäinen 1985). Hakkilan (1966) mukaan kuusen tiheys alenee aluksi tyvestä latvaan päin, mutta alkaa jälleen kohota 60–70 %:n suhteellisella korkeudella ja saavuttaa latvassa suunnilleen tyven tiheystason. Tutkimustulosten erot johtuvat erilaisista mittaustavoista. Joissakin tutkimuksissa näytteitä on otettu aivan puun latvaan saakka, jolloin on saatu tulokseksi latvaa kohti kasvavia tiheyksiä, mikä johtuu kuusen tiheyden laskemisesta aluksi ytimestä pintaan päin. Lisäksi oksien erilainen huomioiminen tutkimuksissa vaikuttaa tuloksiin (Kärkkäinen 1985).

3.3 Kasvunopeuden ja kasvupaikan vaikutus tiheyteen

Paksuuskasvunopeus (vuosiluston leveys) vaikuttaa puuaineen tiheyteen: vuosiluston leventyessä puuaineen tiheys yleensä alenee. Tämä johtuu likimain vakiosta kesäpuuvyöhykkeen leveydestä, jolloin vuosiluston leventyessä kesäpuuta harvemman kevätpuun osuus kasvaa ja keskimääräinen tiheys alenee (Kärkkäinen 1985). Kesäpuun tiheys on todettu männyllä 2,4–3,0 ja kuusella 1,9–2,8 kertaiseksi kevätpuuhun verrattuna (Hakkila 1968). Nopeinta tiheyden aleneminen luston leventyessä on havupuilla, erityisesti kuusella. Joidenkin tutkimusten mukaan havupuilla on olemassa optimaalinen vuosiluston paksuus, jolloin tiheys on suurimmillaan (Kärkkäinen 1985). Kasvunopeutta tärkeämpiä tekijöitä puuaineen tiheydessä ovat sijainti rungossa sekä puun ikä (Haygreen 1989). Hakkila (1979) totesi sekä männyllä, kuusella että koivulla rungon keskimääräisen tiheyden alle 25 - vuotiaissa rungoissa 11 % pienemmäksi kuin yli 100-vuotiaissa.

Havupuilla rungon keskimääräinen tiheys alenee kasvupaikan parantuessa. Hakkila (1966) on havainnut kasvupaikan vaikuttavan puuaineen keskimääräiseen tiheyteen seuraavasti: Käenkaali-mustikka- (OMT) ja puolukkatyyppien (VT) männyllä keskimääräinen tiheys oli 25 vuoden ikäisillä rungoilla 33 kg/m³, 50 vuoden ikäisillä 21 kg/m³, 75 vuoden ikäisillä 16 kg/m³ ja 100 vuoden ikäisillä 15 kg/m³. Kuusella vastaavat tiheyserot olivat noin 20 kg/m³ kaikissa ikäluokissa.

Koivulla tilanne on havupuihin nähden päinvastainen; hyvillä kasvupaikoilla koivujen tiheydet ovat huonojen kasvupaikkojen koivuja hieman suurempia.

Männyn puuaine on tiheintä Pohjanmaan ja Kainuun leveysasteiden tasalla, josta tiheys alenee sekä etelään että pohjoiseen päin (Hakkila 1968). Tiheys on alhaisimmillaan pohjoisessa pienen kesäpuuprosentin vuoksi (Hakkila 1979). Kuusen puuaineen tiheys kasvaa etelästä pohjoiseen ja saavuttaa suurimman arvonsa Tornio – Kuusamo linjan alapuolella, jonka jälkeen tiheys laskee hieman (Hakkila 1968). Vastaava tulos saatiin kuusirungon keskimääräisestä tiheydestä Hakkilan (1979) tutkimuksessa, jossa runkojen keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli 19 cm. Kuusella tiheyden maantieteellinen vaihtelu on vähäisempää kuin männyllä. Männyllä kesäpuuprosentti ja kuusella kesäpuuprosentti ja vuosiluston leveys selittävät suurimman osan tiheyden alueellisesta vaihtelusta (Hakkila 1968). Alueelliset tiheyden vaihtelut johtuvat kasvuolojen vaihtelun lisäksi geneettisistä tekijöistä; puuaineen tiheys on todettu melko vahvasti periytyväksi ominaisuudeksi (Kärkkäinen 1985).

3.4 Reaktiopuun, nuorpuun ja oksien tiheys

Ytimen lähellä sijaitsevan nuorpuun tiheys on selvästi normaalipuuta alhaisempaa, mikä on osittain selitettävissä pienellä kesäpuuprosentilla (Kärkkäinen 1985). Reaktiopuun tiheys on sen sijaan tavallisesti normaalipuun tiheyttä suurempi, jopa 40 % korkeampi (Haygreen 1989).

Oksapuun tiheys on oksan tyvessä erittäin korkea mutta alenee nopeasti oksan kärkiin päin (Hakkila 1969). Rungon sisään jäävän oksapuun tiheys on männyllä noin 750 kg/m³ ja kuusella noin 900 kg/m³ (Kärkkäinen 1985). Oksapuun tiheys kasvaa oksan läpimitan kasvaessa (Hakkila 1969) ja toisaalta tyvestä latvaan päin siirryttäessä (Kärkkäinen 1985). Oksien vieressä puuaineen tiheys havupuilla on havaittu 8 kg/m³ korkeammaksi kuin samalla korkeudella oksien välissä sijaitsevan puuaineen tiheys (Kärkkäinen 1985).

Havupuilla oksapuun keskimääräinen osuus rungon tilavuudesta vaihtelee 0,5–1 %:n välillä. Järeässä rungossa oksapuun osuus kohoaa tyvestä latvaan päin siirryttäessä. Havupuilla oksapuun osuus on suurimmillaan 80–90 %:n suhteellisella korkeudella (Kärkkäinen 1985). Hakkeen keskimääräiseen tiheyteen vaikuttaa näin ollen hakeraaka-aineeksi käytetyn tukin sijainti rungossa, kun tyvitukkien pintaosat oletetaan latvatukkien pintaosia oksattomammiksi (Uusvaara 1972a).

3.5 Sahanhakkeen kuiva-tuoretiheys

Hakkeen puuaineen tiheyden luotettava määrittäminen upotusmenetelmää hyödyntäen hankalaa hakkeen pinnalle ja sekaan jäävien ilmakuplien, veden imeytymisen ja partikkeleiden veteen putoamisen takia. Luotettavimmat tulokset saadaan mahdollisimman märällä hakkeella, jonka pinnasta on poistettu irtovesi siten, ettei vesi poistu puun huokosista (Kärkkäinen 1985). Tämän tutkimuksen tiheyden määri-

tysmenetelmässä (SCAN-CM 43:95 (1995)) on kiinnitetty huomiota edellä mainittuihin virhelähteisiin ja saatu niiden vaikutus vähäiseksi.

Puuaineen massa tilavuusyksikköä kohti vaihtelee maan eri osissa varsinkin pohjois–etelä -suunnassa. Mäntysahanhakkeelle maan pohjois- ja eteläosien välillä on arvioitu olevan 5–10 kg/m³:n tiheysero (Uusvaara 1986). Oksapuun osuus hakkeessa on huomattavasti pienempi kuin muissa puutavaralajeissa, koska hake koostuu pääosin tukkien pintaosista. Erityisen suuri oksapuun määrä sahanhakkeessa nostaa kuiva-tuoretiheyttä (Uusvaara 1972a).

Nykyiset hakkeen muuntokertoimet perustuvat 1980-luvulla tehtyihin selvityksiin (Uusvaara 1986). Kertoimilla muunnetaan aluksi hakkeen kuivamassa irtokuutiometreiksi, jonka jälkeen toisilla kertoimilla irtokuutiometrit muunnetaan kiintokuutiometreiksi. Molempiin kertoimiin liittyy oletus hakkeen pakkautumisesta. Kuusella on käytetty laskentaperusteena irtotilavuusyksikön kuivamassaa 143 kg/i-m³ ja tiiviyttä 0,44 m³/i-m³. Männyllä vastaavat luvut ovat 153 kg/i-m³ ja 0,44 m³/i-m³ ja koi-vulla 169 kg/i-m³ ja 0,40 m³/i-m³. Eri tehtailla tehdyissä tarkastuksissa on havaittu käytössä olevien kertoimien olevan liian suuria, mikä tarkoittaa aliarviota kuiva-tuoretiheydessä. Tehtaiden puunkulutuksesta on tehty samansuuntaisia arvioita.

Hakkeen raaka-aineen kuiva-tuoretiheys on saattanut muuttua 1980-luvulta seuraavista syistä:

- Pieniläpimittaisten, 12–20 cm:n tukkien sahaus on lisääntynyt; pikkutukit sahataan usein omilla sahoillaan tai ainakin sahauslinjoillaan.
- Vajaasärmäinen pintalauta, varsinkin kuusi, menee yhä useammin hakkeeksi, koska sen menekki on ongelma sahatavaramarkkinoilla.
- Sahaustekniikan kehittyminen on vaikuttanut tukin pintaosien joutumiseen hakkeeksi (veistosahat, pelkkahakkurit, pyörösahat, vannesahat, vanhat kehäsahat, pyörösievistimet).
- Viilun sorvaustekniikan kehittyminen on vaikuttanut vanerihakkeen koostumukseen.
- Kuivatun sahatavaran tasauspätkistä, viilun kuivaleikkausjätteestä tai vanerin reunasahausjätteestä tehtyä haketta ei enää hyväksytä massa- ja paperitehtailla.
- Tukkipuusta tulee yhä suurempi osa hakkuin käsitellyistä, aiempaa nopeakasvuisemmista ja nuoremmista metsistä. Toisaalta tällä hetkellä hakataan todennäköisesti puustoltaan järeimpiä tukkileimikoita (metsäverolain muutosvaihe).

Taulukossa 2 on esitetty sahanhakkeen kuiva-tuoretiheyksiä aiemmista tutkimuksista. Kuten edellä on todettu, nykyiset muuntokertoimet perustuvat Uusvaaran (1986) selvitykseen hakkeen ominaisuuksista.

Taulukko 2. Sahanhakkeen kuiva-tuoretiheyksiä (kg/m³) aiemmista tutkimuksista. Uusvaaran tutkimusten tulosten hajonnat suluissa.

TEKIJÄ	VUOSI	ALUE/TEHDAS	MÄNTY-SAHAN-HAKE	KUUSI-SAHAN-HAKE	KOIVU-VIILUHA-KE
Hakkila, P.	1966	Teoreettiset sahanhakkeen tiheydet perustuen pintapuun tiheyksiin. Aineistoa kerätty Vilp-pulasta, Vesijaosta, Evosta ja Punkaharjulta.	441 kg/m ³	379 kg/m ³	
Uusvaara, O.	1969b	Etelä-Suomi	428 kg/m ³ (12)	393 kg/m ³ (13)	
Uusvaara, O.	1971	Neljä vaneritehdasta: Varkaus, Lahti, Heinola ja Ristiina			494,4 kg/m ³
Uusvaara, O.	1972b	Savonlinna – Vaasa linjan pohjoispuoli	404,5 kg/m ³ (36,7)	377,5 kg/m ³ (28,1)	506,3 kg/m ³ (5,6)
		Kaukas	400,8 kg/m ³ (10,4)	373,5 kg/m ³ (13,1)	
		Äänekoski	420,3 kg/m ³ (18,4)	366,5 kg/m ³ (14,4)	
		Pietarsaari	398,6 kg/m ³ (61,5)	378,7 kg/m ³ (15,4)	
		Kajaani	409,9 kg/m ³ (12,3)	381,0 kg/m ³ (10,6)	
		Oulu	405,7 kg/m ³ (68,5)	380,1 kg/m ³ (53,0)	
		Kemi	393,6 kg/m ³ (10,7)		
Uusvaara, O.	1986	Neljä tehdasta: Rauma, Sunila, Oulu ja Äänekoski (teoreettiset kuiva-tuoretiheydet)	413 kg/m ³	385 kg/m ³	
Vuollet, E. ja Merikallio, T.	1998	Rauma	447 kg/m ³	409 kg/m ³	

Hakkilan (1966) Etelä-Suomea koskeneessa tutkimuksessa saha- ja vaneritukkien keskimääräiset tiheydet olivat männyllä 427 ja kuusella 373 kg/m³. Kuitupuun vastaavat luvut olivat männyllä 417 ja kuusella 382 kg/m³. Hakkilan (1968) mukaan kuitupuun keskimääräinen tiheys oli koko maassa männyllä 396 ja kuusella 386 kg/m³. Uusvaara (1972a) sai mäntysahanhakkeen tiheydeksi 407 kg/m³ ja mäntykuitupuusta valmistetun hakkeen tiheydeksi 408 kg/m³.

Kuitupuun ja sahanhakkeen kuiva-tuoretiheyksien erosta ei siis ole saatu yhdenmukaisia tuloksia. Kun otetaan huomioon kuitupuun sahanhaketta suurempi oksapuun osuus, sahanhakkeen virheetön puuaine voidaan kuitenkin arvioida selvästi kuitupuuta tiheimmäksi (Uusvaara 1972a). Erityisesti harvennuskuitupuulla tiheyttä on pidetty selvästi alempana kuin sahanhakkeella.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Aineisto

4.1.1 Tehtaat

Tutkimusta varten kerättiin empiirinen aineisto massa- ja paperitehtaille Suomessa sijaitsevilta mekaanisilta jalostuslaitoksilta (sahat, vaneritehtaat) toimitettavasta hakkeesta taulukon 3 mukaisesti. Tehtaiden valinnassa huomioitiin maantieteellinen sijainti sekä mahdollisuudet näytteiden keruuseen eri hakelajeista. Aineisto kerättiin 1.3.–22.5.1999 välisenä aikana.

4.1.2 Hakkeen toimittajat

Toimittajat, joiden hakkeesta kerättiin aineisto, valittiin sekä massa- ja paperiteollisuuden konserneihin kuuluvista että niiden ulkopuolisista ns. itsenäisistä toimittajista. Jokaista hakkeen käyttäjää kohti valittiin 2–5 sahaa, vaneritehdasta tai veistämöä suuria hakkeen tuottajia painottaen. Sekä vaneritehtaita että veistämöitä on tutkimuksessa mukana kaksi. Yhdellä tehtaalla näytteitä otettiin 11 eri toimittajan hakkeesta näytteiden keruun kiireellisyyden vuoksi. Hakenäytteiden saannin varmistamiseksi toimittajien valinnassa oli huomioitava hakkeen toimitusmäärät ja eri puulajien sahausjaksot kyseisenä, melko lyhyenä tutkimuskautena. Lisäksi valintaan vaikutti laitoksen maantieteellinen sijainti; tavoitteena oli mahdollisimman hyvä hankinta-alueiden kattavuus Pohjois-Suomea lukuun ottamatta. Taulukosta 4 nähdään tutkimuksessa mukana olleet haketoimittajat sekä näytemäärät toimittajittain ja puulajeittain.

Taulukko 3. Massa- ja paperitehtaat, joilta alueelliset ja hakelajikohtaiset aineistot kerättiin

ALUE	TEHDAS	HAKELAJI
Pohjois-Suomi	Kemi	Mäntysahanhake
	Kajaani	Kuusisahanhake
Länsi-Suomi	Pietarsaari	Mänty- ja kuusisahanhake, koivuvaneri- hake, parrunveistohake
	Rauma	Mänty- ja kuusisahanhake
Keski-Suomi	Äänekoski	Mäntysahanhake
	Joutseno	Mäntysahanhake
	Kaipola	Kuusisahanhake
Itä-Suomi	Uimaharju	Mänty- ja kuusisahanhake
	Kaukas	Mänty- ja kuusisahanhake, koivuvaneri- hake, parrunveistohake

Taulukko 4. Hakkeen toimittajat, puulajit ja näytemäärät

HAKKEEN KÄYTTÄJÄ	HAKKEEN TOIMITTAJA	PUULAJI	NÄYTTEIDEN LUKUMÄÄRÄ, KPL		
			Mänty	Kuusi	Koivu
RAUMA	Ahlström Pihlava Oy, Pori	mänty, kuusi	3	6	
	Alavuden Puunjalostus Oy	mänty	10		
	Myllyahon Saha Oy	mänty	2		
	Luvian Saha Oy	mänty, kuusi	5	13	
	Metsä-Timber Oy, Vilppulan saha	kuusi		19	
	Metsä-Timber Oy, Kyrön saha	mänty	11		
	Yhtyneet Sahat Oy, Seikun saha	mänty, kuusi	8	19	
	Metsä-Timber Oy, Merikarvian saha	mänty	10		
	Nuottisaaren saha Oy, Lehtimäki	kuusi		1	
	Koivulan Saha Ky, Roismala	kuusi		2	
	Metsä-Timber Oy, Teuvan saha	mänty	1		
	<i>Yhteensä</i>		50	60	
VEITSILUOTO	Enso Timber Oy, Veitsiluoto	mänty	25		
	Kittilä Wood Oy	mänty	19		
	Heikki Kokkonieniemi Oy *)	mänty	4		
		<i>Yhteensä</i>	48		
PIETARSAARI	Haapajärven Hasa Oy	mänty, kuusi	16	7	
	Yhtyneet Sahat Oy, Wisatimber	mänty, kuusi	49	50	
	Visuvesi Oy	koivu			18
		<i>Yhteensä</i>	65	57	18
KAUKAS	Yhtyneet Sahat Oy, Kaukaan saha *)	mänty	22		
	Yhtyneet Sahat Oy, Kuopion saha	kuusi		22	
	Schauman Wood Oy, Kaukas *)	koivu			23
	Kartiopuu Oy, Luumäki	havuseka	20		
	Koskisen Oy, Järvelä	kuusi		12	
		<i>Yhteensä</i>	22	34	23
KAJAANI	Metsä-Timber Oy, Soinlahden saha	kuusi		28	
	IPO Wood Oy, Kiuruveden saha	kuusi		23	
		<i>Yhteensä</i>		51	
JOUTSENO	Vapo Timber Oy, Hankasalmi	mänty	25		
		<i>Yhteensä</i>	25		
ÄÄNEKOSKI	ER-Saha Oy, Viitasaari	mänty	12		
	Keitele-Timber Oy	mänty	13		
		<i>Yhteensä</i>	25		
UIMAHARJU	Enso Timber Oy, Uimaharju	mänty	35		
	Vapo Timber Oy, Nurmes *)	mänty	15		
	Vapo Timber Oy, Lieksa *)	kuusi		50	
		<i>Yhteensä</i>	50	50	
KAIPOLA	Vapo Timber Oy, Hankasalmi	kuusi		16	
	Kinnaskoski Oy, Vilppula	kuusi		33	
		<i>Yhteensä</i>		49	
Σ			285	301	41
$\Sigma\Sigma$			647		

*) Hakeraaka-aine sisältää huomattavan määrän Venäjän lähialueilta peräisin olevaa puuta.

Taulukko 5. Näytemäärät hake- ja puulajeittain

HAKELAJI	PUULAJI	NÄYTTEIDEN LUKUMÄÄRÄ, KPL
Sahanhake	Mänty	269
	Kuusi	294
Parrunveistohake	Mänty	16
	Kuusi	7
	Havusekahake	20
Vanerihake	Koivu	41
Yhteensä		647

Sahanhakenäytteitä pyrittiin saamaan sekä normaali- että pikkutukeista tehdystä hakkeesta. Parrunveistohakenäytteet voidaan rinnastaa pikkutukkihakenäytteisiin sen suhteen, millaisista tukeista tai mistä tukin osista hake on tehty. Parrunveistohake syntyy sivutuotteena valmistettaessa neljältä sivulta hakettua, ty-

veen päin paksunevaa puutavaraa eli ns. egyptinparrua. Parrunveistohake koostuu kokonaisuudessaan puun pintaosista, koska hakkeessa ei ole mukana tasauspätkiä. Taulukossa 5 on esitetty näytemäärät hake- ja puulajeittain.

Haketoimittajista kerättiin seuraavat taustatiedot:

- Kuvaus toimittajan sahalaitteista ja hakkureista
- Palakotavoite tai palakokojakauma
- Raakapuun varastointitapa
- Puunhankinta-alue
- Toimittajan käyttämä raakapuun määrä sahatavarakuutiometriä kohti (käytösuhde)
- Arvio hakkeen keskimääräisestä koostumuksesta:

sahat:

1. pintahake ja särmäysjäte
2. tuoreet tasauspätkät
3. kuivat tasauspätkät

vaneritehtaat:

1. tukkien katkontajäte
2. pyöristsyjäte
3. purilaat
4. viulun märkäleikkausjäte

4.2 Menetelmät

4.2.1 Näytteiden keruu

Näytteiden keruussa tehtailla pyrittiin satunnaisotokseen vastaanotetusta ostohakkeesta. Näytteet otettiin yleensä autohakekuormista. Kahdessa tapauksessa, joissa merkittävä hakkeen toimittaja sijaitsi samalla tehdasalueella kuin hakkeen käyttäjä,

hakenäytteet otettiin suoraan sahalta hakkeen seulonnan jälkeen. Aineistoa täydennettiin yhden merkittävän sahan osalta junalla toimitettavasta hakkeesta. Hakkeen toimituksissa tapahtuneiden jatkuvien muutosten takia jouduttiin suunnitella aineiston keruusta tekemään muutoksia useaan kertaan.

Haketoimittaja täytti kustakin hake-erästä erillisen hakekuormakortin (liite 4), josta ilmeni hakkeen toimittaja, toimituspäivämäärä, hakelaji sekä mahdollisuuksien mukaan arviot tukkiraaka-aineesta ja hake-erän raaka-ainekoostumuksen poikkeamista normaalista. Hakekuormakortit toimitettiin hakeauton mukana hakkeen vastaanottajalle ja edelleen näytteen mukana laboratorioon. Hakkeen toimittaja täytti kyseisen tutkimuskauden aikana kortin jokaisesta tutkimuksessa mukana olleelle tehtaalle menneestä kuormasta. Tehtaan puuvastaanotossa määritettiin kuormat, joista näytteitä otettiin. Menettelyn ongelmana oli kuormakorttien turha täyttämistyö niiden hakekuormien osalta, jotka eivät tulleet otokseen mukaan. Yhdellä tehtaalla päädyttiinkin valitsemaan otokseen mukaan tulevat kuormat jo ennen kuorman noutamista; kuljettajalle annettiin puuvastaanotossa hakekuormakortti seuraavan toimittajalta noudettavan kuorman taustatietoja varten, jolloin vältyttiin turhalta korttien täyttämiseltä.

Tutkimusta varten kustakin näytekkuormasta otettiin 8–10 litran suuruinen näyte, joka koostui kuorman purkuvirrasta otetuista osanäytteistä. Lisäksi joka kymmenennestä näytekkuormasta otettiin lisänäyte palakokojakauman ja kuoripitoisuuden mittausta varten, jolla varmistettiin aineiston edustavuus hakkeen laadun suhteen (liite 5). Näytteet pakattiin kosteustiiviisti ja toimitettiin hakekuormakorttien kanssa analyysin suorittavaan laboratorioon.

4.2.2 Kuiva-tuoretiheyden määrittäminen

Ongelmaksi kuiva-tuoretiheyksien määrittämisessä muodostui SCAN-CM 43:95 –standardin (1995) mukaisten analyysivälineiden puuttuminen useimpien tehtaiden laboratorioista. Lisäksi aikaa vievien mittausten suorittamiseen tutkimuksen aika-aulun mukaisesti arvioitiin monilla tehtailla tarvittavan ylimääräistä työvoimaa. Osa tehtaista päätyi toimittamaan hakenäytteet analysoitaviksi oman tehtaan ulkopuolelle. Laboratoriotyöt suoritettiin taulukon 6 mukaisesti.

Laboratorioihin toimitetuista näytteistä otettiin 2–3 litran osanäytteet kuiva-tuoretiheyden määrittämistä varten. Tiheyden määrittäminen tehtiin noudattaen SCAN-CM 43:95 –standardia (1995) (liite 6). Näytteitä ei kuitenkaan seulottu laboratorioissa ja tiheys määritettiin yhden mittauksen eikä kolmen rinnakkaisnäytteen mittaustulosten keskiarvon perusteella. Standardin mukainen analyysimenetelmä on seuraava:

1) Haketta liotetaan vedessä, jolloin puuaineen huokokset saadaan täytetyksi vedellä. Liotuksella voidaan välttää veden imeytymisestä aiheutuva mittavirhe tuoretilavuuden määrittämisessä upotusmenetelmällä. Toisaalta voidaan varmistua siitä, että puun kosteus on puunsiiden kyllästymispisteen (PSK) yläpuolella. Kosteuden lisääntyessä puuaineen tilavuus ei enää kasva kosteusturpoaman vuoksi, kun puunsiiden kyllästymispiste on ylitetty.

Taulukko 6. Näytteiden analyysipaikat, lukumäärät tehtaittain ja laboratorioittain sekä prosenttiosuudet näytteiden kokonaismäärästä

LABORATORIO	TEHDAS	NÄYTTEIDEN LUKUMÄÄRÄ, KPL	OSUUS NÄYTTEIDEN KOK. MÄÄRÄSTÄ, %
Lännen laboratoriot (Rauma)	Rauma	110	17,0
	Veitsiluoto	48	7,4
	Joutseno	25	3,8
	<i>Yhteensä</i>	<i>183</i>	<i>28,2</i>
Pulp Center (Pietarsaari)	Pietarsaari	140	21,6
	Kaukas	99	15,3
	Kajaani	51	7,9
	Kaipola *)	16	2,5
	<i>Yhteensä</i>	<i>306</i>	<i>47,3</i>
Stora Enso Oyj Tutkimuskeskus (Imatra)	Uimaharju	100	15,5
Äänekoski	Äänekoski	25	3,9
Kaipola	Kaipola *)	33	5,1
Yhteensä		647	

*) Kaipolan näytemäärä yhteensä 49 kpl (7,6 % kokonaismäärästä), tiheyden määritykset tehtiin kahdessa laboratoriossa.

2) Liotuksen jälkeen hakkeesta poistetaan tilavuuden mittausvirhettä aiheuttava pintavesi linkoamalla haketta sentrifugilla. Lingon ulkokehällä on saavutettava juuri oikean suuruinen keskeisvoima pintaveden poistamiseksi siten, ettei vettä poistu puuaineen huokosista.

3) Hakkeen tilavuus mitataan Arkhimeden lakiin perustuvalla upotusmenetelmällä. Oleellista on saada poistettua ilmakuplat hakkeen seasta oikean tilavuusmitan saamiseksi.

4) Hake kuivataan kuivausuunissa 105 °C:ssa noin vuorokauden ajan, minkä jälkeen mitataan hakkeen kuivamassa. Kuivausajan on oltava riittävän pitkä, jotta kaikki vesi saadaan poistetuksi puusta.

Kuiva-tuoretiheyden, kuivamassan ja tuoretilavuuden lisäksi noin 50 prosentista näytteistä mitattiin ennen liotusta tuoremassat, jolloin voitiin laskea puuaineen kosteus ja kuiva-ainepitoisuus. Näin pystyttiin varmistumaan siitä, että näytteiden kosteus ei ollut laskenut puunsyiden kyllästymispisteen alapuolelle ennen kuiva-tuoretiheyden määrittämistä. Pienimmillään näytteen kosteus oli 48 % tuoremassasta. Kaikista hakekuormakorteista selvisi näytteen hakelaji, puulaji, hakkeen toimittaja ja käyttäjä sekä hakkeen toimituspäivämäärä. Pienestä osasta näytteitä oli ilmoitettu myös hakkeen raaka-aineksi käytettyjen tukkien läpimitta.

4.2.3 Tulosten analysointi

Hakkeen puuaineen kuiva-tuoretiheyksiä tarkasteltiin tehtaittain ja alueittain keskikukujen, keskihajontojen sekä keskiarvon luottamusvälien sekä näistä tunnuslu-

vuista laadittujen taulukoiden ja kuvaajien avulla. Lisäksi tiheyksiä vertailtiin t-testin ja yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla, jotka ovat keskiarvoon perustuvia tilastollisia testausmenetelmiä. Varianssianalyysin käyttö ja keskiarvon luottamusvälien laskenta edellyttää aineistolta normaalijakautuneisuutta. Normaalijakauma on tilastotieteessä yleisimmin esiintyviä frekvenssijakaumia, jossa aineistosta laskettu keskiarvo osoittaa jakauman paikan. Jakauman muoto määräytyy keskihajonnan ja varianssin perusteella. Jakauman muodon testaukseen voidaan käyttää Kolmogorovin-Smirnovin testiä (Ranta ym. 1989).

4.2.4 Taulukoitujen tunnuslukujen laskenta ja tulkinta

1) N = Laskennassa mukana olevien havaintojen lukumäärä.

2) Keskiarvo (\bar{x}) = Aritmeettinen otoskeskiarvo

3) Mediaani (Md):

Mediaani on suuruusjärjestykseen järjestetyn aineiston keskimäinen havainto eli mediaani jakaa aineiston kahteen yhtä suureen osaan. Toisin kuin keskiarvo mediaani ei reagoi herkästi poikkeaviin havaintoihin tai satunnaismuuttujan vinoon jakaumaan.

4) Keskihajonta (s) = Havaintojen keskihajonta otoksessa

$$s = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Normaalijakautuneessa aineistossa voidaan keskiarvon ja keskihajonnan perusteella tehdä seuraavia oletuksia: Noin 68% havainnoista sijaitsee välillä $\bar{x} - s \dots \bar{x} + s$ ja noin 95% välillä $\bar{x} - 2 \times s \dots \bar{x} + 2 \times s$ (Ranta ym. 1989). Kun esimerkiksi mäntysahanhakkeen otoksesta laskettuja keskiarvon ja -hajonnan odotusarvoja pidetään populaation ”eteläsuomalaisen mäntysahanhakkeen tiheys” odotusarvoina, voidaan todeta seuraavaa: Mäntysahanhakkeen tiheys on keskimäärin 430 kg/m³ ja keskihajonta 19 kg/m³ (taulukko 7). Noin 68 %:ssa näytteistä tiheys on välillä 411–449 kg/m³ ja 95 %:ssa välillä 392–468 kg/m³. Toisin sanoen, kun otetaan näyte mäntysahanhakkeesta, sen puuaineen tiheys on 95 %:n todennäköisyydellä välillä 392–468 kg/m³.

5) Keskiarvon keskivirhe (otoskeskiarvon keskihajonta, $s_{\bar{x}}$):

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Keskiarvon keskivirhe voidaan tulkita seuraavasti: Kun normaalijakautuneesta perusjoukosta otetaan sarja toisistaan riippumattomia satunnaisotoksia, yksittäisten otosten keskiarvot muodostavat havaintojen tavoin normaalijakautuneen tiheysfunktion. Otokseskiarvojen keskihajonta voidaan laskea yksittäisestä otoksesta em. yhtälöllä (Ranta ym. 1989). Keskiarvon luotettavuus kasvaa ts. otokeskiarvo on yhä suuremmalla varmuudella lähellä populaation eli perusjoukon keskiarvoa, kun satunnaismuuttujan keskihajonta pienenee tai havaintojen lukumäärä kasvaa.

6) Keskiarvon luottamusväli:

Otoksesta lasketut tunnusluvut voidaan yleistää koko populaatiota koskeviksi. Otokseskiarvo hakkeen puuaineen tiheydestä on arvio eli estimaatti populaation keskiarvosta. Estimaatteja ovat myös esim. otoksesta lasketut hajonnat, varianssit ja suhteelliset osuudet. Luotettavakin estimaatti poikkeaa melko varmasti populaation todellisesta arvosta (Ranta ym. 1989). Luottamusvälin arvioinnissa lasketaan väli, jonka uskotaan halutulla riskitasolla sisältävän populaation todellisen parametrin arvon.

Populaation keskiarvon (μ) luottamusväli lasketaan seuraavasti:

$$\bar{x} - z \times \frac{s}{\sqrt{N}} \leq \mu \leq \bar{x} + z \times \frac{s}{\sqrt{N}} ,$$

jossa \bar{x} = otokeskiarvo

μ = populaation keskiarvon odotusarvo (lukuarvo = \bar{x})

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{N}} = \text{otokeskiarvon keskihajonta} = \text{keskiarvon keskivirhe}$$

z = Studentin t-jakauman kriittinen arvo halutulla riskitasolla

Kun muuttujan keskihajontaa populaatiossa ei tunneta, keskihajonta estimoidaan otoksen keskihajonnasta ($\sigma = s$). Tällöin luottamusvälin laskennassa käytetään Studentin t-jakaumaa. Studentin t-jakauman tiheysfunktio on monimutkainen ja tavallisesti laskennassa käytetään taulukoituja arvoja, jotka löytyvät useimmista tilastotieteen käsikirjoista (Ranta ym. 1989). Yleisesti käytetyllä 95 %:n luottamustasolla (5 %:n riskitaso) t-jakauman kriittinen arvo on 1,96.

Luottamusvälin pituuteen vaikuttavat otoksen keskihajonta, havaintojen lukumäärä sekä vaadittu varmuustaso. Esimerkiksi eteläsuomalaisen mäntysahanhakkeen keskiarvo (taulukko 7) on 430 kg/m³ ja 95 %:n luottamusväli 427,9–432,5 kg/m³. Jos mäntysahanhakkeesta otettaisiin sata toisistaan riippumatonta otosta, on odotettavissa että 95 otoksessa keskimääräinen tiheys olisi äsken mainitulla luottamusvälillä. Luottamusvälien avulla voidaan verrata riippumattomia otoksia keskenään. Esimerkiksi taulukossa 7 Pietarsaaren ja Kaukaan otokeskiarvot poikkeavat selvästi toisistaan. Keskiarvon luottamusvälit menevät kuitenkin osin päällekkäin.

käin, joten tämän tarkastelun perusteella Pietarsaaren ja Kaukaalle tulevan hakkeen kuiva-tuoretiheydessä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Sen sijaan Kemin luottamusväli poikkeaa kaikista muista tehtaista.

Luottamusvälien tarkastelussa on huomattava keskiarvon virheherkkyys satunnaismuuttujan jakauman vinoudelle tai poikkeaville havainnoille, koska keskiarvo määrää luottamusvälin ”paikan”. Optimitilanteessa havaintojen keskiarvo ja mediaani ovat yhtä suuria. Mäntysahanhakkeen luottamusvälit lienevät paikkansapitäviä aineiston normaalijakautuneisuuden ja toisaalta keskiarvojen ja mediaanien välisten pienten erojen perusteella.

5 TULOKSET

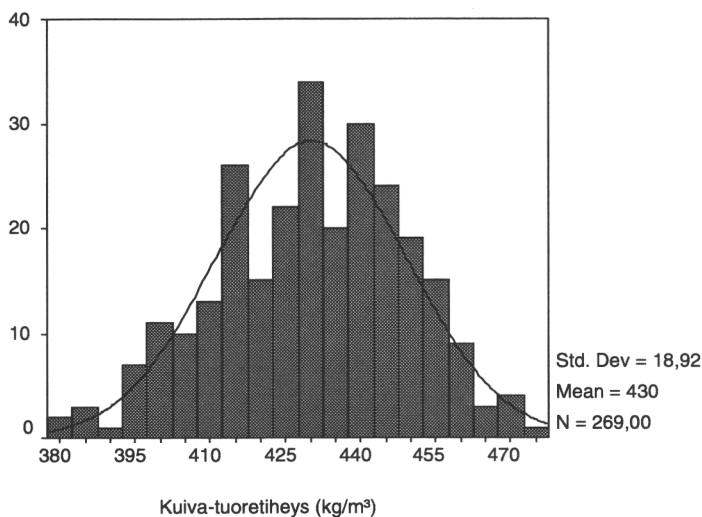
5.1 Mäntysahanhake

Tutkimuksessa mukana olevien mäntysahanhakkeen toimittajien hankinta-alueet kattavat suurimman osan maasta (liitteet 1 ja 2). Mäntysahanhakkeesta näytteitä kerättiin seitsemällä tehtaalla yhteensä 269 kappaletta. Kuvasta 1 nähdään mäntysahanhakeaineiston jakauma tiheyden funktiona ja normaalijakauman kuvaaja.

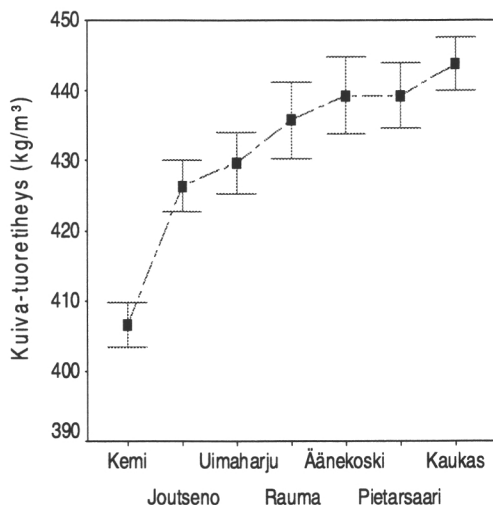
Kuva 2 esittää taulukon 7 mukaisia mäntysahanhakkeen kuivatuoretiheyden keskiarvoja ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälejä tehtaittain. Vertailtaessa tehtaiden välisiä tiheyksiä on huomioitava hakkeen toimittajien sijainnit (liitteet 1 ja 2). Joutsenon hakkeen tiheys ei kuvaa itäsuomalaista puuainetta, sillä hakenäytteet otettiin Keski-Suomessa sijaitsevalta sahalta toimitetusta hakkeesta. Kemiin toimitetun hakkeen alhainen tiheys poikkeaa keskiarvon luottamusvälien perusteella selvästi kaikkien muiden hakkeesta. Varianssianalyysi antoi tiheyden vaihtelusta tehtaittain saman lopputuloksen kuin keskiarvojen ja luottamusvälien tarkastelu: vain Kemiin toimitetun hakkeen tiheys erosi merkitsevästi muille tehtaalle toimitetusta hakkeesta ($df = 6$, $F = 30,0$, $p = 0,000$).

Taulukko 7. Mäntysahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut tehtaittain, kg/m^3

	N, kpl	Keskiarvo	Mediaani	Keskijajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Rauma	50	436	436	19,5	2,8	397	477	430,3...441,3
Pietarsaari	49	439	441	16,4	2,3	382	458	434,6...444,0
Äänekoski	25	439	436	13,4	2,7	419	460	433,8...444,8
Joutseno	25	426	427	8,8	1,8	408	441	422,7...430,0
Kaukas	22	444	442	8,7	1,9	430	465	439,9...447,7
Uimaharju	50	430	432	15,5	2,2	398	458	425,3...434,1
Kemi	48	407	409	11,2	1,6	380	428	403,3...409,7
Koko aineisto	269	430	431	18,9	1,2	380	477	427,9...432,5



Kuva 1. Mäntysahanhakkeen tiheyden frekvenssijakauma ja normaalijakauman kuvaaja



Kuva 2. Taulukon 7 mukaiset mäntysahanhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit tehtaittain. Vertailussa on huomioitava hakkeen toimittajien sijainnit.

Alueellisen kuiva-tuoretiheyden vaihtelun selvittämiseksi maa jaettiin osiin kahdella eri tavalla taulukoiden 8 ja 10 mukaisesti. Jakoperusteena käytettiin hakkeen toimittajien hankinta-alueita (liite 2). Taulukoista 9 ja 11 sekä kuvista 3 ja 4 nähdään alueittaiset kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä keskiarvon luottamusvälit. Kuvan 3 perusteella Lapin ja Peräpohjolan hakkeen keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla mutta selvästi alempia kuin muualla maassa. Lounais-, Keski- ja Itä-Suomen sekä Keski-Pohjanmaan hakkeiden tiheyksien välillä ei ollut eroa.

Pohjois-Suomen hakkeen kuiva-tuoretiheys oli selvästi muuta maata alhaisempi, mutta Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen hakkeiden välillä ei ollut eroa (kuva 4). Varianssianalyysillä päästiin samaan tulokseen kuin

keskiarvoja ja luottamusvälejä vertailemalla ($df = 3, F = 47,8, p = 0,000$).

Taulukko 8. Aluejako 1 mäntysahanhakkeen tiheyksien alueittaisessa vertailussa

LOUNAIS-SUOMI	KESKI-POHJANMAA	KESKI-SUOMI	ITÄ-SUOMI	PERÄ-POHJO-LA	LAPPI
- Rauman toimittajat pl. Alavuden Puunjalostus Oy ja Metsä-Timber Oy, Merikarvia	- Yhtyneet Sahat Oy, Wisatimber	-Keitele-Timber Oy -ER-Saha Oy, Viitasaari -Vapo Timber Oy, Hankasalmi	-Yhtyneet Sahat Oy, Kaukas -Enso-Timber Oy, Uimaharju -Vapo Timber Oy, Nurmes	-Enso Timber Oy, Veitsiluoto	-Kittilä Wood Oy

Taulukko 9. Mäntysahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit alueittain, aluejako 1, kg/m³

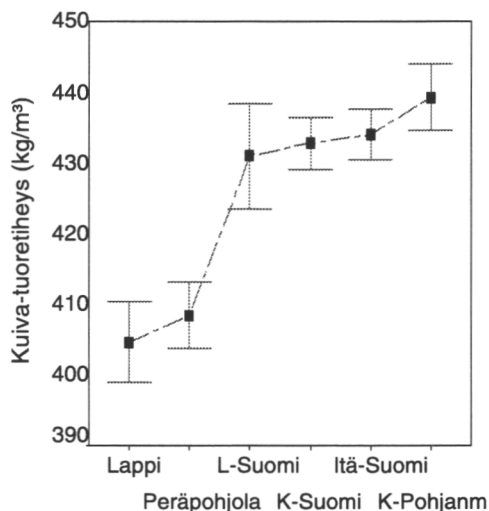
	N, kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Lounais-Suomi	30	431	427	20,0	3,7	397	470	423,6...438,5
Keski-Pohjanmaa	49	439	441	16,4	2,3	382	472	434,6...444,0
Keski-Suomi	50	433	431	13,0	1,8	408	460	429,1...436,5
Itä-Suomi	72	434	436	15,2	1,8	398	465	430,5...437,6
Peräpohjola	25	408	412	11,3	2,3	384	428	403,7...413,0
Lappi	19	404	404	11,9	2,7	380	426	398,9...410,4

Taulukko 10. Aluejako 2 mäntysahanhakkeen tiheyksien alueittaisessa vertailussa

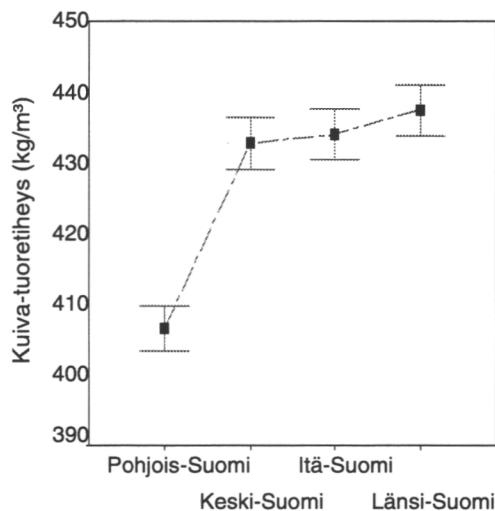
LÄNSI-SUOMI	KESKI-SUOMI	ITÄ-SUOMI	POHJOIS-SUOMI
- Rauman toimittajat - Pietarsaaren toimittajat	- Äänekosken toimittajat - Joutsenon toimittajat	- Uimaharjun toimittajat - Kaukaan toimittajat	- Kemin toimittajat

Taulukko 11. Mäntysahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit alueittain, aluejako 2, kg/m³

	N, kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Länsi-Suomi	99	438	439	18,0	1,8	382	477	433,9...441,1
Keski-Suomi	50	433	431	13,0	1,8	408	460	429,1...436,5
Itä-Suomi	72	434	436	15,2	1,8	398	465	430,5...437,6
Pohjois-Suomi	48	407	409	11,2	1,6	380	428	403,3...409,7



Kuva 3. Taulukon 9 (aluejako 1) mukaiset mäntysahanhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit hankinta-alueittain



Kuva 4. Taulukon 11 (aluejako 2) mukaiset mäntysahanhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit hankinta-alueittain

Taulukko 12. Mäntysahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit lounaissuomalaisilla männyn tyvi- ja latvatukkeja sahaavilla sahoilla sekä keskipohjalaisella normaalitukkeja sahaavalla sahalla ja pikkutukkeja vastaavia parrunaiheita käyttävällä parrunveistämöllä, kg/m³

	N, kpl	Keskiarvo	Mediानी	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Lounais-Suomi:								
Tyvitukkihake	10	452	448	16,2	5,1	427	477	440,6...463,8
Latvatukkihake	8	422	417	21,0	7,4	397	456	404,1...439,2
Keski-Pohjanmaa:								
Normaalitukkihake	49	439	441	16,4	2,3	382	472	434,6...444,0
Parrunveistohake	16	433	432	15,1	3,8	406	465	425,0...441,0

Männyn puuaineen tiheys kasvaa ytimeistä pintaan päin. Koska sahanhake koostuu pääosin tukkien pintaosien puuaineesta, voidaan hakkeen kuiva-tuoretiheys olettaa sitä suuremmaksi mitä järeämmistä tukeista hake on peräisin. Mäntyaineistossa oli käytettävissä tukkien läpimittatiedot noin 80 hakenäytteen osalta. Vertailtaessa

ryhmiä $d \leq 200$ mm ja $d > 200$ mm, saatiin ensimmäisen ryhmän tiheyden keskiarvoksi 419 kg/m^3 ja jälkimmäisen 420 kg/m^3 . Ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää ($df = 73$, $t = 0,095$, $p = 0,925$). Osin tämä johtui tiheyden maantieteellisen vaihtelun taustavaikutuksesta ja vaikeudesta selvittää kuormakohtaista läpimittatietoa luotettavasti.

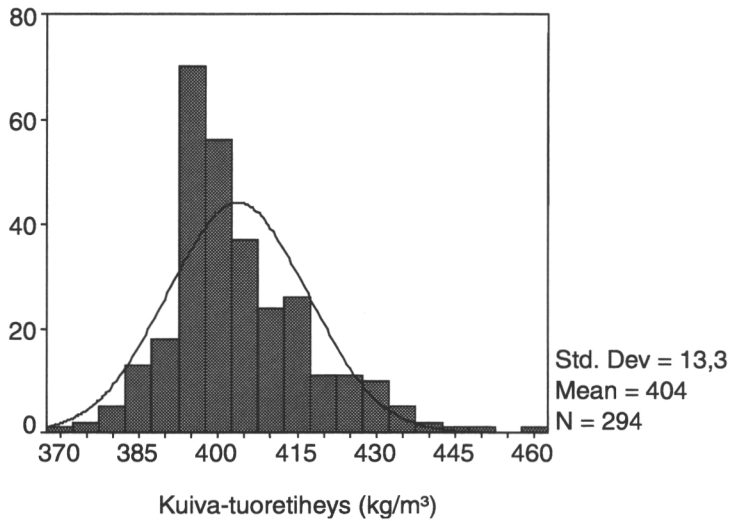
Tapauskohtaisena esimerkkinä vertailtiin lounaissuomalaisten vain männyn latva- tai tyvitukkeja käyttäneiden sahojen hakkeen tiheyksiä (taulukko 12). Sahat sijaitsevat lähellä toisiaan ja niiden hankinta-alueet menevät pääosin päällekkäin. Sahojen välisessä tiheyksien vertailussa tulee esille tukin sijainnin (tyvi / latva) sekä osin tukin järeyden vaikutus tiheyteen. Tyvitukeista tehdyn hakkeen tiheys oli 30 kg/m^3 suurempi kuin latvatukeista tehdyn hakkeen. Ero oli tilastollisesti merkitsevä, vaikka havaintojen lukumäärä oli pieni ($df = 16$, $t = 3,4$, $p = 0,003$).

Vastaava vertailu voitiin tehdä keskipohjalaisen männyn normaalitukkeja sahaavan sahan ja pikkutukkeja vastaavaa raaka-ainetta käyttävän parrunveistämön hakkeen tiheydestä (taulukko 12). Normaalitukeista tehdyn hakkeen tiheys oli 6 kg/m^3 suurempi kuin parrunveistohakkeen tiheys. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($df = 63$, $t = 1,4$, $p = 0,179$).

5.2 Kuusisahanhake

Kuusisahanhakkeesta otettiin näytteitä kuudelta tehtaalta yhteensä 294 kappaletta. Toimittajien hankinta-alueet kattavat melko hyvin Oulun läänin eteläpuolisen osan maasta (liitteet 1 ja 3). Kuusen teollinen sahaus on vähäistä Pohjois-Suomessa. Kuvasta 5 nähdään kuusisahanhakeaineiston frekvenssijakauma tiheyden funktiona ja normaalijakauma kuvaaja. Aineisto kokonaisuudessaan ei noudata normaalijakaumaa, eikä siitä siksi ole järkevää laskea keskiarvon luottamusväliä. Poistamalla aineistosta Kaipolan havainnot jakauma normalisoituu ja luottamusväli voidaan perustellusti laskea.

Kuusisahanhakkeen tiheyden keskihajonnat ja keskimääräisen tiheyden erot tehtaiden välillä olivat pieniä (taulukko 13, kuva 6). Tiheyden alueellista vertailua varten maan eteläosa jaettiin kolmeen vyöhykkeeseen hankinta-alueiden perusteella taulukon 14 mukaisesti. Alueittaiseen vertailuun ei otettu mukaan Metsä-Timber Oy:n Vilppulan sahaa, jonka hankinta-alue kattaa koko eteläisen Suomen. Kuusen osalta tukkien läpimittatietoja saatiin niin vähän, ettei järeyden vaikutusta hakkeen kuiva-tuoretiheyteen pystytty arvioimaan. Alueittaisessa vertailussa Savo-Pohjois-Karjalan hakkeen kuiva-tuoretiheys oli 9 kg/m^3 alhaisempi kuin Keski-Pohjanmaan hakkeen (taulukko 15.) Ero alueiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ($df = 187$, $t = 5,3$, $p = 0,000$). Sen sijaan Keski-Pohjanmaan ja Lounais-Suomen hakkeiden tiheyksien ero (3 kg/m^3) ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($df = 153$, $t = 1,0$, $p = 0,299$)

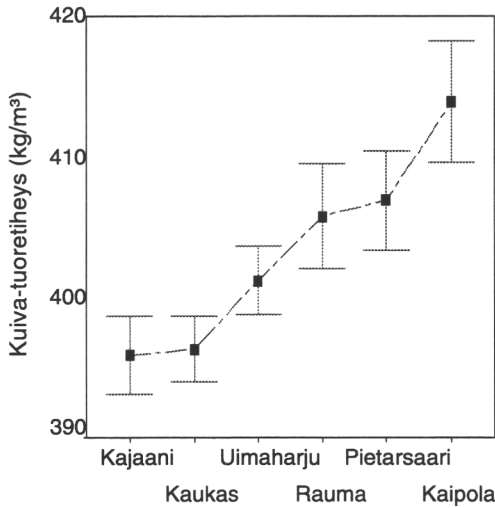


Kuva 5. Kuusisahanhakkeen frekvenssijakauma ja normaalijakauman kuvaaja

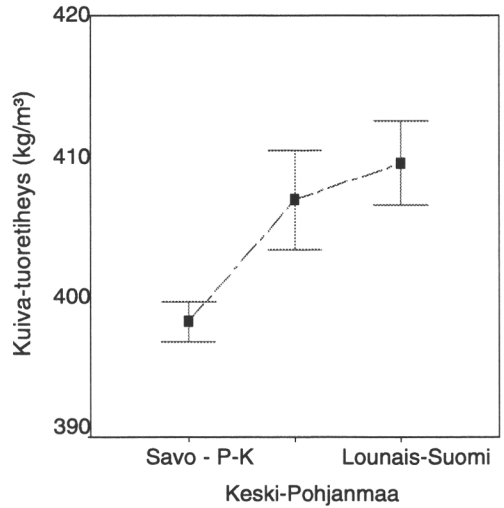
Taulukko 13. Kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut tehtaittain, kg/m³

	N, kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Rauma	60	406	404	14,4	1,9	385	459	402,1...409,5
Pietarsaari	50	407	409	12,2	1,7	379	437	403,4...410,4
Kaipola	49	414	415	14,8	2,1	392	443	409,6...418,2
Kaukas	34	396	395	6,8	1,2	387	416	393,9...398,7
Uimaharju	50	401	402	8,5	1,2	378	421	398,8...403,6
Kajaani	51	396	397	9,9	1,4	371	423	393,1...398,7
Aineisto ilman Kaipolaa	245	402	400	12,0	0,8	371	459	400,2...403,2
Koko aineisto	294	404	400	13,3		371	459	

Tapauskohtaisena esimerkkinä vertailtiin Savossa sijaitsevien sahojen hakkeita, joista toinen sahaa normaalitukkeja ja toinen pikkutukkeja. Vastoin ennakkokäsitystä pikkutukkihakkeen keskimääräinen tiheys oli 10 kg/m³ suurempi kuin normaalitukkihakkeen (taulukko 16). Ero oli tilastollisesti merkitsevä (df = 49, t = 4,2, p = 0,000).



Kuva 6. Taulukon 13 mukaiset kuusisahanhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja 95 %:n luottamusvälit tehtaittain. Vertailussa on huomioitava hakkeen toimittajien sijainnit.



Kuva 7. Taulukon 14 mukaiset kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheydet ja 95 %:n luottamusvälit hankinta-alueittain. Aineistosta on poistettu Metsä-Timber Oy:n Vilppulan sahan havainnot sen suuren hankinta-alueen vuoksi.

Taulukko 14. Aluejako kuusisahanhakkeen tiheyksien alueittaisessa vertailussa

LOUNAIS-SUOMI	KESKI-POHJANMAA	SAVO – PÖRJÖIS-KARJALA
- Rauman toimittajat (pl. Metsä-Timber Oy, Vilppula)	- Yhtyneet Sahat Oy, Wisatimber	- Yhtyneet Sahat Oy, Kuopio
- Kinnaskoski Oy		- Vapo Timber Oy, Lieksa
- Koskisen Oy		- Vapo Timber Oy, Hankasalmi
		- Metsä-Timber Oy, Soinlahti
		- IPO Wood Oy, Kiuruvesi

Vastaava vertailu tehtiin Keski-Pohjanmaalla sijaitsevalle normaalitukkeja sahaavalle sahalle ja pikkutukkeja vastaavaa raaka-ainetta käyttävälle parrunveistämölle (taulukko 16). Tässäkin parrunveistohakkeen keskimääräinen tiheys oli 2 kg/m³ suurempi kuin normaalitukkihakkeen. Ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (df = 55, t = 0,5, p = 0,601).

Taulukko 15. Kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit alueittain, kg/m³

	N, kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Lounais-Suomi	105	410	406	15,6	1,5	385	459	406,7...412,5
Keski-Pohjanmaa	50	407	409	12,4	1,8	379	437	403,4...410,4
Savo-Pohjois-Karjala	139	398	398	8,8	0,8	371	423	396,8...399,7

Taulukko 16. Kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit savolaisilla normaali- ja pikkutukkeja sahaavilla sahoilla sekä keskipohjalaisella normaalitukkeja sahaavalla sahalla ja pikkutukkeja vastaavia parrunaiheita käyttävällä parrunveistämöllä, kg/m³

	N, kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Savo-Pohjois-Karjala:								
Normaalitukkihake	28	391	393	9,4	1,8	371	408	387,6...394,9
Pikkutukkihake	23	401	400	7,3	1,5	394	423	398,1...404,7
Keski-Pohjanmaa:								
Normaalitukkihake	50	407	409	12,4	1,8	379	437	403,4...410,4
Parrunveistohake	7	409	408	6,1	2,3	400	417	403,8...415,1

Taulukko 17. Parrunveistohakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit, kg/m³

	N, kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Mänty	16	433	433	15,1	3,8	406	465	425,0...441,0
Kuusi	7	409	408	6,1	2,3	400	417	403,8...415,1
Havuseka	20	433	434	12,3	2,8	406	453	427,4...439,0

Taulukko 18. Koivuvanerihakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit tehtaittain, kg/m³

	N. kpl	Keski-arvo	Medi-aani	Keski-hajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin	Keskiarvon 95%:n luottamusväli
Pietarsaari	18	483	484	17,5	4,1	434	505	474,0...491,4
Kaukas	23	506	507	17,0	3,5	466	532	498,6...513,3
Koko aineisto	41	496	500	20,6	3,2	434	532	489,2...502,2

5.3 Parrunveistohake

Parrunveistohakenäytteitä kerättiin Pietarsaaren ja Kaukaan tehtailla kahdelta toimittajalta. Parrunveistohakkeen tulokset ovat paikallisia. Taulukosta 17 nähdään parrunveistohakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiluvut ja -hajonnat sekä luottamusvälit.

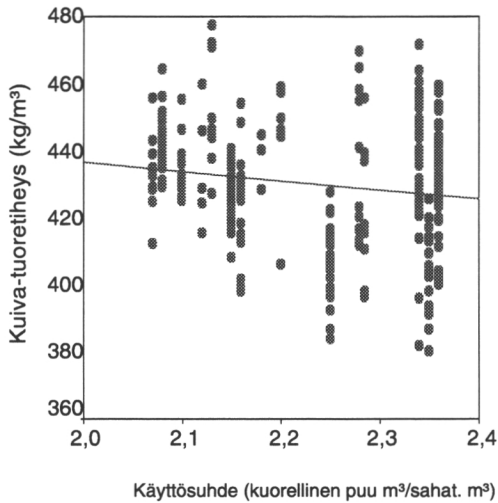
Pietarsaaren toimitettu lajipuhdas hake oli valmistettu latvaläpimitaltaan 10–15 cm:n puutavarasta ja Kaukaalle toimitettu havusekahake 8–14 cm:n puutavarasta. Havusekahakkeen koostumus oli keskimäärin 70 % mäntyä ja 30 % kuusta. Parrunveistohakkeessa on pelkästään puun pintaosien haketta.

5.4 Koivuvanerihake

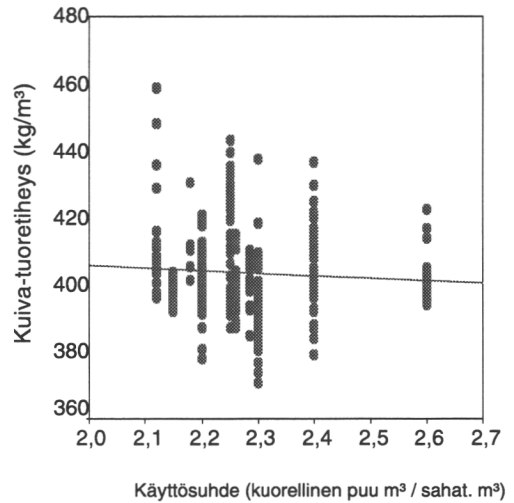
Koivuvanerihakenäytteitä kerättiin kahdella tehtaalla yhteensä 41 kappaletta. Kaukaalla näytteet otettiin oman vaneritehtaan hakkeesta ja Pietarsaareissa länsisuomalaisen vaneritehtaan hakkeesta. Keski- ja hajontaluvut sekä luottamusvälit on esitetty taulukossa 18. Kaukaalla koivuhakkeen keskimääräinen tiheys oli 23 kg/m³ Pietarsaaren haketta korkeampi. Ero oli tilastollisesti merkitsevä (df = 39, t = 4,3, p = 0,000). Länsisuomalaisella vaneritehtaalla pääosa käytettävästä raaka-aineesta hankitaan noin 50 kilometrin säteeltä tehtaasta, mutta hankinta-alue ulottuu aina rannikolle saakka. Tehdas käyttää oman arvionsa mukaan enemmän hies- kuin rauduskoivua. Kaukaan vaneritehtaan hankinta-alue ulottuu Suomessa noin sadan kilometrin päähän tehtaalta, mutta yli puolet tehtaan käyttämästä raakapuusta tuodaan Venäjältä. Venäjältä toimitetun puun järeys ei poikkea tehtaalta saatujen tietojen mukaan Suomesta hankitusta puusta.

5.5 Käyttösuhteen vaikutus mänty- ja kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheyteen

Lähes kaikilta toimittajilta saatiin raaka-aineen käyttösuhtediedot (kuorellinen puu m³ / sahatavara m³). Käyttösuhde kasvaa normaalisti tukin järeyden pienentyessä ja



Kuva 8. Mäntysahanhakkeen kuiva-tuoretiheydet käyttösuhteen funktiona



Kuva 9. Kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheydet käyttösuhteen funktiona

muodon heikentyessä, joskin siihen vaikuttavat myös sahaustekniikka ja -laitteisto sekä sahattavat dimensiot. Kuvien 8 ja 9 hajontakuvioista nähdään tiheyshavainnot käyttösuhteen funktiona mänty- ja kuusisahanhakkeella. Kuvioihin on piirretty regressiosuorat. Tiheys aleni männyllä tilastollisesti merkitsevästi mutta lievästi käyttösuhteen kasvaessa. Kuusella ei ollut tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta.

Regressioyhtälö männylle:

$$Y = 491,4 - 27,3 \times X$$

$$R^2 = 2,3 \%, \text{ RMSE} = 18,8 \text{ kg/m}^3, F = 6,3$$

$$Y = \text{kuiva-tuoretiheys, kg/m}^3$$

$$X = \text{käyttösuhde}$$

Regressioyhtälö kuuselle:

$$Y = 419,8 - 7,0 \times X$$

$$R^2 = 0,4 \%, \text{ RMSE} = 13,2 \text{ kg/m}^3, F = 1,2$$

$$Y = \text{kuiva-tuoretiheys, kg/m}^3$$

$$X = \text{käyttösuhde}$$

6 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksessa mukana olleiden mäntysahanhakkeen toimittajien hankinta-alueet peittivät koko maan melko hyvin. Kuusisahanhakeella hankinta-alueet kattoivat Oulun läänin eteläpuolisen alueen. Parrunveistohakkeella tulokset olivat paikallisia. Koivuvanerihaakkeella tulokset kuvasivat lähinnä suuntaa antavasti Länsi- ja Itä-Suomen tasoeroa. Tutkimuksessa oli mukana monia suuria sahoja, joiden osalta näytteiden maantieteellinen alkuperä jäi epätarkaksi suurten hankinta-alueiden takia. Sahanhakeaineiston hyvä kattavuus oli osin näennäistä, kun otetaan huomioon suurten hakkeen toimittajien laajat hankinta-alueet ja niitä edustavat melko pienet näytemäärät.

Mäntysahanhakeaineistossa ainoastaan Kemin kuiva-tuoretiheydet poikkesivat selvästi ja sinänsä oletusten mukaisesti muiden tehtaiden arvoista. Poikkeuksena yleislinjasta oli merkitsevä tiheysero Joutsenon ja Äänekosken tehtaiden välillä, vaikka ko. tehtaille haketta toimittavien sahojen hankinta-alueet sijaitsivat Keski-Suomessa lähellä toisiaan (liitteet 1 ja 2, taulukko 7). Myös Kaukaan ja Uimaharjun tehtaiden välinen ero oli merkitsevä, vaikka toimittajien hankinta-alueet menivät osin päällekkäin. Tämä päällekkäisyys johtui tehtaiden ja toimittajien usein pitkistäkin välimatkoista ja toimittajien laajoista hankinta-alueista, jolloin puun maantieteellinen alkuperä tehtaiden välisessä tarkastelussa hämärtyi.

Tulosten satunnaisvaihtelu pieneni ryhmittelemällä aineistoa hankinta-alueiden perusteella. Mäntysahanhakeella Pohjois-Suomen keskimääräinen tiheys oli selvästi muun maan tiheyksiä alhaisempi. Sen sijaan Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen välillä ei ollut tilastollista eroa. Erottamalla eteläisin Suomi omaksi alueekseen eroa olisi saattanut löytyä, mutta tällaista jakoa ei aineiston perusteella pystytty järkevästi tekemään.

Kuusisahanhakeaineiston kuiva-tuoretiheyden hajonnat ja vaihteluvälit olivat selvästi mäntyä pienempiä (taulukot 13 ja 15). Tämä normaaliksi katsottava tulos johtui mitä ilmeisemmin kuusen mäntyyyn verrattuna pienistä tiheyseroista ydin- ja pintapuun sekä tyvi- ja latvapuun välillä. Itä-Suomen tehtailla (Uimaharju, Kaukas) tiheydet olivat kuitenkin muuta maata alhaisempia. Tämän kanssa yhden-suuntainen tulos saatiin jakamalla aineisto hankinta-alueiden perusteella Lounais-Suomen, Keski-Pohjanmaan ja Savo-Pohjois-Karjalan alueisiin: tiheys oli viimeksi mainitulla alueella alhaisempi kuin muilla alueilla, mutta Lounais-Suomen ja Keski-Pohjanmaan välillä ei ollut eroa.

Parrunveistohakkeen toimittajia oli tutkimuksessa mukana kaksi, joista toisesta toimitettiin lajipuhdasta mänty- ja kuusihaketta toisesta havusekahaketta (taulukko 17). Männen parrunveistohakkeen tiheys oli pienempi kuin lähialueilta toimitetun sahanhakkeen tiheys, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuusella parrunveistohakkeen tiheys oli hyvin lähellä lähialueen sahanhakkeen tiheyttä eikä ero ollut myöskään merkitsevä (taulukko 16). Havusekahakkeen koostumus oli keskimäärin 70 % mäntyä ja 30 % kuusta, mikä vaikeutti tulosten arviointia. Puulajien sekoittumisesta huolimatta havusekahakkeen tiheyden hajonta oli lajipuhtaiden aineistojen tasolla.

Koivuvanerihaakeaineistoa kerättiin Pietarsaareissa länsisuomalaisen tehtaan hakkeesta ja Kaukaalla oman tehtaan hakkeesta, joista ensimmäisellä keskimääräinen tiheys oli selvästi pienempi kuin jälkimmäisellä (taulukko 18). Kaukaan vaneritehtaalle tuodaan paljon puuta Venäjältä, mutta latvaläpimitta ei eroa Suomesta ja Venäjältä hankitussa puussa, joten tuontipuun korkeampi ikä tai järeyt ei selittänyt Pietarsaarta suurempia tiheyksiä. Tehtaiden välillä oli eroa käytetyn hies- ja rauduskoivun käyttömäärien suhteessa, mikä vaikuttaa keskimääräiseen hakkeen tiheyteen. Rauduskoivun rungon keskimääräinen tiheys on noin 15 kg/m^3 hieskoivun tiheyttä korkeampi (Hakkila 1979); tyviosassa tiheysero on noin 30 kg/m^3 (Hakkila 1966). Pietarsaareen toimitettuun hakkeeseen käytetystä puusta suurin osa oli vaneritehtaan oman arvion mukaan hieskoivua, kun taas Kaukaalla koivulajien suhde oli otaksuttavasti päinvastainen. Purilashakkeen osuus hakkeen kokonaismäärästä oli Pietarsaareen toimittaneella tehtaalla pienemmän tukkijäreyden vuoksi selvästi korkeampi kuin Kaukaalla. Kun koivun tiheys kasvaa ytimeistä pintaan päin, suuri purilashakkeen määrä alentaa hakkeen keskimääräistä tiheyttä. Koivulajin ja tukkijäreyden yhteisvaikutus voitiin havaita myös raaka-aineen käyttösuhteesta, joka oli länsisuomalaisella tehtaalla selvästi suurempi kuin Kaukaalla.

Hakkeen toimittajista kyettiin selvittämään hankinta-alueiden lisäksi tiedot sahalaiteista ja hakkureista sekä käyttösuhteesta. Sen sijaan hakkeen koostumuksesta saatiin vain muutamia arvioita. Kuormakohtaisista tiedoista hakeraaka-aineeksi käytettyjen tukkien läpimitan selvittäminen osoittautui vaikeaksi. Kun toimittajat käyttävät samoja sahausasetteita vain muutamia tunteja yhtäjaksoisesti, tukkiläpimitan luotettava arviointi siilossa olevalle hakkeelle oli mahdotonta. Hakkeen tiheyden ja tukin koon välisen riippuvuuden selvittäminen jäi näin ollen puutteelliseksi. Luotettavan ja koko aineiston kattavan läpimittatiedon hankkiminen vaatisi näytteiden keruuta jo sahalla ennen hakkeen sekoittumista siilossa.

Tapauskohtaisena esimerkkinä vertailtiin lounaissuomalaisia pelkästään männyn tyvitukkia ja latvatukkia sahaavien sahojen haketta (taulukko 12). Tyvitukkien hake oli selvästi latvatukkien haketta tiheämpää, mikä on selitettävissä männyn tyven ja latvan välisellä tiheyserolla sekä tyvitukkien latvatukkeja suuremmalla läpimitalla. Havaintojen määrä vertailussa oli pieni, mutta tiheysero oli kuitenkin merkitsevä. Vastaava vertailu tehtiin keskipohjalaisen normaalitukkeja sahaavan sahan ja parrunveistämön välillä sekä kuusella että männyllä (taulukot 12 ja 16). Parrunveistohake voidaan käytetyn raaka-aineen suhteen rinnastaa pikkutukkihakkeeseen. Tilastollisesti merkitsevää eroa normaalitukkihakkeen ja parrunveistohakkeen tiheyksien välillä ei ollut kummallakaan puulajilla. Tukin järeyden vaikutusta hakkeen tiheyteen selvitettiin kuusella vertaamalla Savossa sijaitsevien sahojen tiheysarvoja (taulukko 16). Sahoista toinen sahaa pikkutukkeja ja toinen normaalitukkeja. Vastoin oletuksia pikkutukkihake oli normaalitukkihaketta selvästi tiheämpää. Tukkien keskiläpimittojen ero oli ilmeisen pieni kyseisten sahojen välillä.

Mäntysahanhakkeella käyttösuhteen (kuorellinen pyöreä puu m^3 / sahatarava m^3) ja kuiva-tuoretiheyden välillä oli havaittavissa negatiivinen riippuvuus, mutta vastaavaa riippuvuutta ei ollut kuusisahanhakkeella. Männyllä puuaineen

tiheys kasvaa ytimeistä pintaan päin, mikä selittää hakkeen tiheyden kasvun käytösuhteen pienentyessä. Latva- ja pikkutukkien sahaus nostaa käyttösuhdetta. Tarkastelussa on huomioitava tiheyden ja tukkien läpimitan alueellinen vaihtelu Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä ja Pohjois-Suomen kuusen puuttuminen aineistosta; tiheydet ja läpimitat alenevat ja käyttösuhteet kasvavat siirryttäessä etelästä pohjoiseen.

Hakenäytteiden tiheyden hajonnat olivat pieniä etenkin kuusella, kun otetaan huomioon tyyppillisesti suuretkin vaihtelut metsiköiden välillä ja sisällä sekä yksittäisen rungon sisällä ja niiden välillä. Puun ominaisuuksien lisäksi hajontaan vaikuttavat mm. pinta- ja sydänpuun suhde sekä näytteenotto- ja analyysimenetelmä. Tiheyden vaihtelua vähentää hakkeen sekoittuminen eri käsittelyvaiheissa (haketus, hakesiilo, kuorma) sekä näytteenotossa (hakekuorman purkuvirrasta näyte, josta sekoittamisen jälkeen analysoitava osanäyte). Käytetty kuiva-tuoretiheyden määrittäminen menetelmä (SCAN-CM 43:95 –standardi (1995)) on saman laboratorion toistomittauksissa todettu tarkaksi; kaikissa mittauksissa tarkkuus on ollut vähintään $\pm 3 \text{ kg/m}^3$ (H. Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 21.6.1999). Menetelmä ei siis aiheuta aineistoon merkittävää vaihtelua.

Laboratoriotyöt keskitettiin Äänekosken ja Kaipolan näytteitä lukuun ottamatta kolmeen laboratorioon. Koska analyysissä saattaa syntyä erilaisten välineiden ja eri mittajien aiheuttamaa eroa laboratorioiden välille, laboratoriotöiden keskittäminen parantaa tulosten vertailtavuutta. Mahdollisten erojen löytämiseksi ja tiheysmäärittäksen tarkkuuden arvioimiseksi Pietarsaaren (Pulp Center), Rauman (Lännen Laboratoriot Oy) ja Imatran (Stora Enso Oyj, Tutkimuskeskus) laboratoriot analysoivat rinnakkaisnäytteitä taulukoiden 19 ja 20 mukaisesti. Lisäksi KCL (Oy Keskuslaboratorio Ab, ei mukana tässä tutkimuksessa) ja Pietarsaari ovat analysoineet rinnakkaisnäytteitä taulukon 21 mukaisesti (H. Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 21.6.1999).

Määritettyjen tiheyksien keskimääräinen ero oli Rauman ja Pietarsaaren välillä + 2,5 %, Imatran ja Pietarsaaren välillä – 0,6 % ja KCL:n ja Pietarsaaren välillä + 1,2 %. Imatralla ja Pietarsaarella tehdyissä rinnakkaismittauksissa kaikki tulokset olivat lähellä toisiaan. Sen sijaan Rauman ja Pietarsaaren analysoimien kahden kuusinäytteen (Wisatimber 65 ja 66) tulokset poikkesivat selvästi toisistaan. Tämän vuoksi analysoitiin kaksi ylimääräistä kuusinäytettä (Koskisen Oy 8 ja 10), joilla päästiin hyvään tarkkuuteen. Kaikissa määrittäyksissä Pietarsaari sai hieman Raumaa suurempia tuloksia. Neljä rinnakkaisnäytettä on kuitenkin vähäinen määrä arvioitaessa mittausmenetelmän tarkkuutta. Rinnakkaisnäytteiden otto vaatii erityistä tarkkuutta ja melko suurta näytekokoja vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Tässä tutkimuksessa otettiin noin kuuden litran näyte, joka sekoittamisen jälkeen jaettiin kahteen yhtä suureen osaan. Huolellisellakaan näytteenotolla ei näytteiden todellisia tiheyksiä saada tarkalleen samansuuruisiksi. Nämä virhetekijät huomioiden laboratorioiden välisiä eroja voidaan pitää vähäisinä ja niiden vaikutusta tämän tutkimuksen tulosten soveltamiseen pieninä

Sahanhakkeen kuiva-tuoretiheydestä on olemassa muutamia aikaisempia selvityksiä (taulukko 2). Uusvaaran (1971) määrittämät tiheydet koivuvanerihaakkeelle olivat yhteneviä tämän tutkimuksen kanssa ja Uusvaaran (1969a,b) määrittä-

Taulukko 19. Hakkeen kuiva-tuoretiheys Rauman ja Pietarsaaren määrittämistä rinnakkaisnäytteistä, kg/m³

NÄYTE	PUULAJI	RAUMA	PIETARSAARI	ERO (%)
Hankasalmi 2	Mänty	417	422	1,2
Hankasalmi 20	Mänty	418	422	0,9
Wisatimber 65	Kuusi	384	405	5,2
Wisatimber 66	Kuusi	387	404	4,2
Koskisen Oy 8	Kuusi	386	392	1,7
Koskisen Oy 10	Kuusi	380	387	1,7

Taulukko 20. Hakkeen kuiva-tuoretiheys Imatran ja Pietarsaaren määrittämistä rinnakkaisnäytteistä, kg/m³

NÄYTE	PUULAJI	IMATRA	PIETARSAARI	ERO (%)
990421/19	Kuusi	406,0	400	-1,5
990439/24	Kuusi	395,9	393	-0,7
990535/45	Mänty	426,9	428	0,3
990550/50	Mänty	404,5	403	-0,4

Taulukko 21. Hakkeen kuiva-tuoretiheys KCL:n ja Pietarsaaren määrittämistä rinnakkaisnäytteistä, kg/m³

NÄYTE	PUULAJI	KCL	PIETARSAARI	ERO (%)
1	Mänty	412	416	1,0
2	Koivu	473	479	1,2
3	Koivu	475	482	1,4

mät tiheydet mänty- ja kuusisahanhakkeelle hieman alempia kuin tässä tutkimuksessa. Uusvaaran (1972) tutkimus mänty- ja kuusisahanhakkeesta on toteutettu samansuuntaisesti tämän selvityksen kanssa, joskin eroja on hakkeen analyysimenetelmissä, mm. hakkeen liotusajassa. Nyt lasketut tiheysarvot ovat selvästi korkeampia tuolloin saatuihin arvoihin nähden. Hakkilan (1966) tulokset ovat teoreettisia analyysejä kiekkonäytteistä, jotka eivät suoraan vastaa hakeraaka-aineen koostumusta. Nämä tulokset olivat kuitenkin samalla tasolla kuin tämän tutkimuksen tulokset, varsinkin männyllä ja koivulla.

Nykyisin käytössä olevat, Metsäntutkimuslaitoksen tulosten perusteella lasketut muuntokertoimet perustuvat hakkeen irtotilavuusyksikön kuivamassaan (kg /i-m³) sekä irto- ja kiintotilavuuden suhteeseen (i-m³/m³). Tehtaalla määritetään kosteusmittausten perusteella hakkeen kuivamassa, joka muunnetaan kertoimella irtokuutiometriksi (BDt ⇒ i-m³). Irtokuutiometrit muutetaan edelleen toisilla kertoimilla kuorelliseksi kiintotilavuudeksi (i-m³ ⇒ m³). Muuntokertoimiin on sisällytetty kuoriprosentti, joka on 12 % kuorellisesta tilavuudesta kaikilla puula-

jeilla. Kertoimilla kuivamassaa tilavuudeksi muunnettaessa tulokseksi saadaan kuorellinen kiintotilavuus.

Molempiin käytössä oleviin muuntokertoimiin liittyy oletus hakkeen irtotilavuuden pakkautumisesta (H. Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 21.6.1999). Hakkeen pakkautumiseen on todettu vaikuttavan mm. seuraavat tekijät: hakkeen lastaus- ja kuljetustapa, kuljetusmatka ja tien laatu, hakkeen palakoko ja palakoon jakauma sekä kosteus ja puulaji (Uusvaara ja Heiskanen 1975). Edellistä menettelyä huomattavasti tarkempaa on laskea hakkeen kuiva-tuoretiheyksiin perustuvat kertoimet ja muuntaa kuivamassa suoraan kiintotilavuudeksi ($BDt \Rightarrow m^3$) (H. Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 21.6.1999).

Esimerkki 1 Hakkeen kuorellisen kuivamassan muuntaminen kuorelliseksi kiintotilavuudeksi käytössä olevalla menetelmällä ja tämän tutkimuksen tuloksiin perustuvalla muuntokertoimella. Lähtötilanne yksi kuiva-ainetonni (1 BDt) eteläsuomalaista mäntysahanhaketta.

1) Käytössä oleva menetelmä:

$$\frac{1 \text{ BDt}}{0,153 \text{ BDt}/i - m^3} = 6,54 i - m^3$$

$$6,54 i - m^3 \times 0,44 \text{ m}^3/i - m^3 = \underline{\underline{2,88 \text{ m}^3}} \quad (\text{kuorellinen})$$

2) Muunnos perustuen mäntysahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiarvoon (435 kg/m³)

$$435 \text{ kg}/m^3 \Rightarrow 2,30 \text{ m}^3/BDt$$

$$1 \text{ BDt} \times 2,30 \text{ m}^3/BDt = 2,30 \text{ m}^3 \quad (\text{kuoreton})$$

Kuoriprosentti 12:

$$2,30 \text{ m}^3 \times 1,136 = \underline{\underline{2,61 \text{ m}^3}} \quad (\text{kuorellinen})$$

Esimerkissä kuorta oletetaan olevan 12 % puun kuorellisesta tilavuudesta, jolloin osuus kuorettomasta tilavuudesta on 13,6 %.

Esimerkki 2 Hakkeen kuorellisen kuivamassan muuntaminen kuorelliseksi kiintotilavuudeksi käytössä olevalla menetelmällä ja tämän tutkimuksen tuloksiin perustuvalla muuntokertoimella. Lähtötilanne yksi kuiva-ainetonna (1 BDt) eteläsuomalaisista kuusisahanhaketta.

1) Käytössä oleva menetelmä:

$$\frac{1 \text{ BDt}}{0,143 \text{ BDt}/i - m^3} = 6,99 i - m^3$$

$$6,99 i - m^3 \times 0,44 m^3/i - m^3 = \underline{\underline{3,08 m^3}} \quad (\text{kuorellinen})$$

2) Muunnos perustuen kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiarvoon (404 kg/m³)

$$404 \text{ kg}/m^3 \Rightarrow 2,48 m^3/BDt$$

$$1 \text{ BDt} \times 2,48 m^3/BDt = 2,48 m^3 \quad (\text{kuoreton})$$

Kuoriprosentti 12:

$$2,48 m^3 \times 1,136 = \underline{\underline{2,81 m^3}} \quad (\text{kuorellinen})$$

Esimerkissä kuorta oletetaan olevan 12 % puun kuorellisesta tilavuudesta, jolloin osuus kuorettomasta tilavuudesta on 13,6 %.

Haluttaessa tarkentaa muunnoksia on syytä käyttää puulajeittaisia ja alueellisia kuoriprosentteja. Taulukossa 22 on esitetty Etelä- ja Pohjois-Suomen keskimääräiset tilavuuskuoriprosentit mänty-, kuusi- ja koivukuitupuille (Saikku ja Rikkonen 1976) sekä havusahatukeille (Heiskanen ja Rikkonen 1976) ja koivuvaneritukeille (Kellomäki ja Salmi 1979).

Taulukkoon 23 on laskettu yhden hakkeen kuiva-ainetonnin kiintotilavuudet määritettynä käytössä olevalla menetelmällä ja tässä tutkimuksessa saatujen keskimääräisten alueellisten kuiva-tuoretiheyksien ja kuitupuun keskimäärin oletetun kuoriprosentin perusteella. Männyllä aluejako on tehty taulukon 10 mukaisesti, jolloin Pohjois-Suomeen kuuluvat Kemin hakkeen toimittajat ja Etelä-Suomeen kaikki muut alueet (Länsi-, Keski- ja Itä-Suomi). Kuusen osalta Keski-Pohjanmaa ja Lounais-Suomi (taulukko 14) on yhdistetty Länsi-Suomeksi ja Savo-Pohjois-Karjala pidetty omana alueenaan. Koivuhakkeen osalta Kaukaalle toimitettu hake edustaa Itä-Suomea ja Pietarsaaren toimitettu Länsi-Suomea.

Taulukko 22. Kuitupuun ja tukin tilavuuskuoriprosentit Etelä- ja Pohjois-Suomessa puulajeittain (Saikku ja Rikkonen 1976, Heiskanen ja Rikkonen 1976, Kellomäki ja Salmi 1979)

PUULAJI	KUITUPUU		TUKKI	
	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Mänty	12	12	12	12
Kuusi	12	15	10	13
Koivu	13	16	11,5	...

Taulukko 23. Yhden hakkeen kuiva-ainetonnin (1 BDt) muuntaminen kuorelliseksi kiintotilavuudeksi käytössä olevalla menetelmällä ja tässä tutkimuksessa saatuihin hakelajikohtaisiin ja alueellisiin kuiva-tuoretiheyksiin ja oletettuun keskimääräiseen kuoriprosenttiin (12 %) perustuen.

HAKELAJI/ ALUE	MUUNNOS KÄYTÖSSÄ OLEVALLA MENETEL- MÄLLÄ, kuorelli- nen tilavuus, m ³	MUUNNOS KUIVA- TUORETIHEYKSIIN PERUSTU- EN		KUOREL- LISTEN TI- LAVUUKSI- EN ERO, %
		Kuoreton tila- vuus, m ³	Kuorellinen tila- vuus, m ³ , oletettu kuoriprosentti 12	
Mäntysahanhake Pohjois-Suomi (407 kg/m ³)	2,88 m ³	2,46 m ³	2,79 m ³	-3,0
Mäntysahanhake Etelä-Suomi (435 kg/m ³)	2,88 m ³	2,30 m ³	2,61 m ³	-9,3
Kuusisahanhake Länsi-Suomi (409 kg/m ³)	3,08 m ³	2,44 m ³	2,77 m ³	-10,0
Kuusisahanhake Savo-P-K (398 kg/m ³)	3,08 m ³	2,51 m ³	2,85 m ³	-7,4
Kuusisahanhake Koko Etelä-Suomi (404 kg/m ³)	3,08 m ³	2,48 m ³	2,81 m ³	-8,6
Koivuvaneri- hake Länsi-Suomi (483 kg/m ³)	2,37 m ³	2,07 m ³	2,35 m ³	-0,8
Koivuvaneri- hake Itä-Suomi (506 kg/m ³)	2,37 m ³	1,98 m ³	2,28 m ³	-3,8
Koivuvaneri- hake Koko Etelä-Suomi (496 kg/m ³)	2,37 m ³	2,02 m ³	2,29 m ³	-3,2

Taulukko 24. Suositukset teollisuushakkeen painomittauksessa käytettäville kuiva-tuoretiheyksille ja muuntokertoimille.

HAKELAJI	ALUE	KUIVA-TUORETIHEYS, kg/m ³	MUUNTOKERROIN, m ³ /kuiva-ainetonni (kuoreton tilavuus)
Mäntysahanhake	Etelä-Suomi	435 kg/m ³	2,30
	Pohjois-Suomi	407 kg/m ³	2,46
Kuusisahanhake	Etelä-Suomi	404 kg/m ³	2,48
Koivuvanerihaake	Etelä-Suomi	496 kg/m ³	2,02

Kuiva-tuoretiheys oli kaikilla hakelajeilla ja alueilla suurempi ja muuntokerroin vastaavasti pienempi kuin on oletettu käytössä olevassa menetelmässä. Ero oli suuri Etelä-Suomen kuusi- ja mäntysahanhakkeella, 7–10 %, ja verraten pieni koivuvanerihaikkeella ja Pohjois-Suomen mäntysahanhakkeella, 1–3 %. Korostettakoon, että tässä kuitupuulle oletettu keskimääräinen kuoriprosentti mäntysahanhakkeella vastaa eteläsuomalaista havukuitupuuta. Johtopäätösten tarkentamiseksi olevien ja tämän tutkimuksen tuloksiin perustuvien muuntokertoimien soveltamisen vaikutuksesta hakkeen kuorelliseen tilavuuteen on peruteltua käyttää em. puulajikohtaisia ja alueellisia kuoriprosentteja (taulukko 22).

Tulokset merkitsevät sitä, että kuorellinen kiintotilavuusyksikkö teollisuushaketta sisältää enemmän sellu- ja paperiteollisuudessa jalostuskelpoista kuiva-ainetta kuin käytössä olevat muuntokertoimet olettavat. Toisaalta kuivamassayksikköön tarvitaan tilavuusyksikkönä määritettynä vähemmän haketta kuin em. muuntokertoimet olettavat.

Hakkeen kuivamassan muuntamisessa kiintotilavuudeksi suositellaan männylle omia muuntokertoimia Pohjois- ja Etelä-Suomeen taulukon 24 mukaisesti. Kuusella Savo-Pohjois-Karjala ja Länsi-Suomi erosivat kuiva-tuoretiheyden perusteella toisistaan. Kuuselle suositellaan kuitenkin yhtä muuntokerrointa koko tutkimusalueelle, koska aineiston perusteella ei pystytty tekemään selkeää aluejakoa ja toisaalta tiheysero alueiden välillä oli puuaineen ominaisuuksien tavanomaiseen vaihteluun nähden kohtuullisen pieni, 11 kg/m³. Koivulle voidaan suositella aineiston pienuuden vuoksi vain yhtä muuntokerrointa. Tätä voidaan perustella myös sillä, että Suomen vaneritehtaista vain kaksi sijaitsee Länsi-Suomessa.

Täsmentävää lisätutkimusta kaipaavat tämän tutkimuksen tulosten perusteella erot normaali- ja pikkutukkien hakkeen tiheydessä, tukin koon vaikutus tiheyteen sekä Etelä-Suomen sisäiset tiheyserot kuusisahanhakkeella ja koivuvanerihaikkeella.

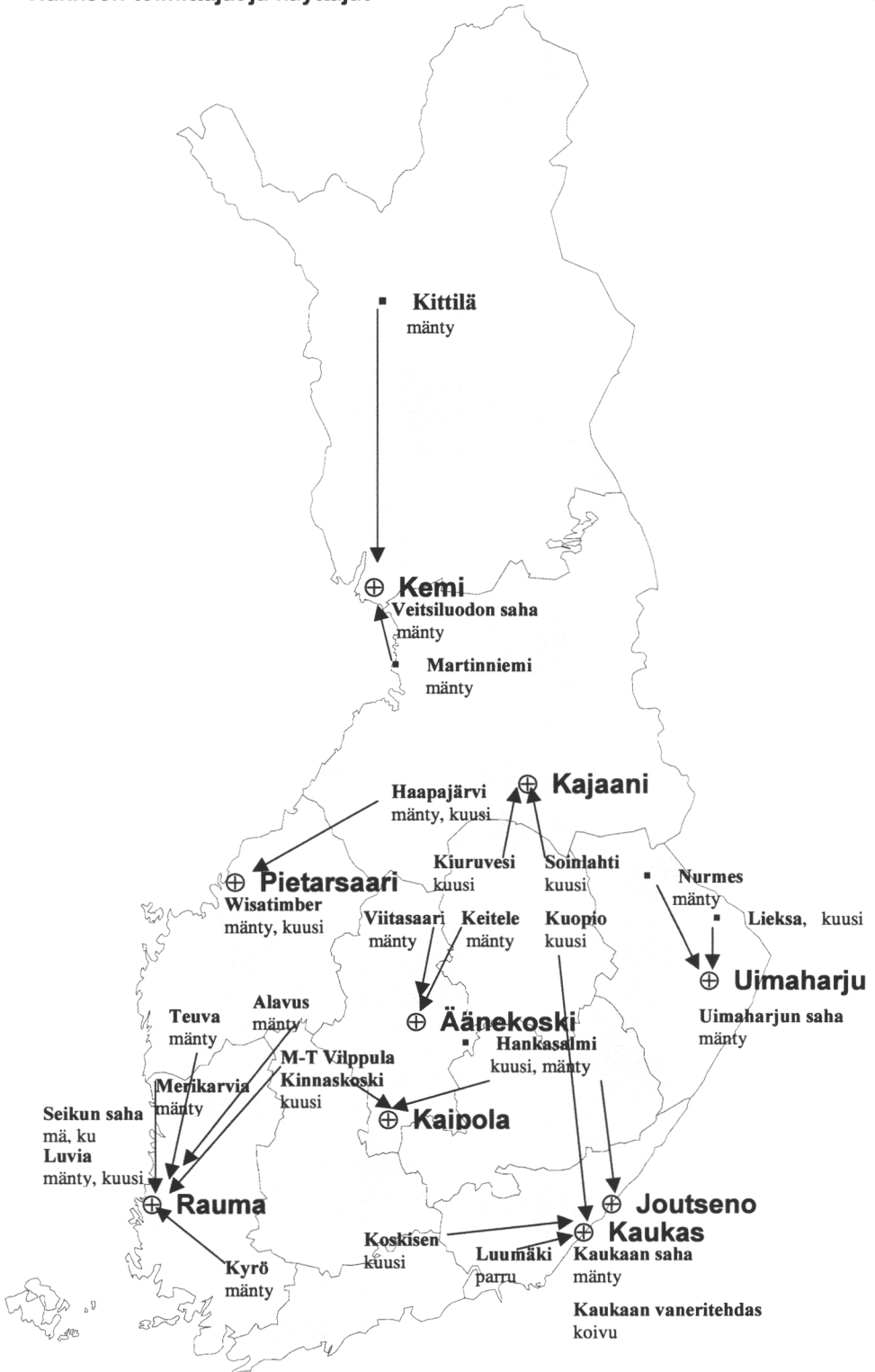
KIRJALLISUUS

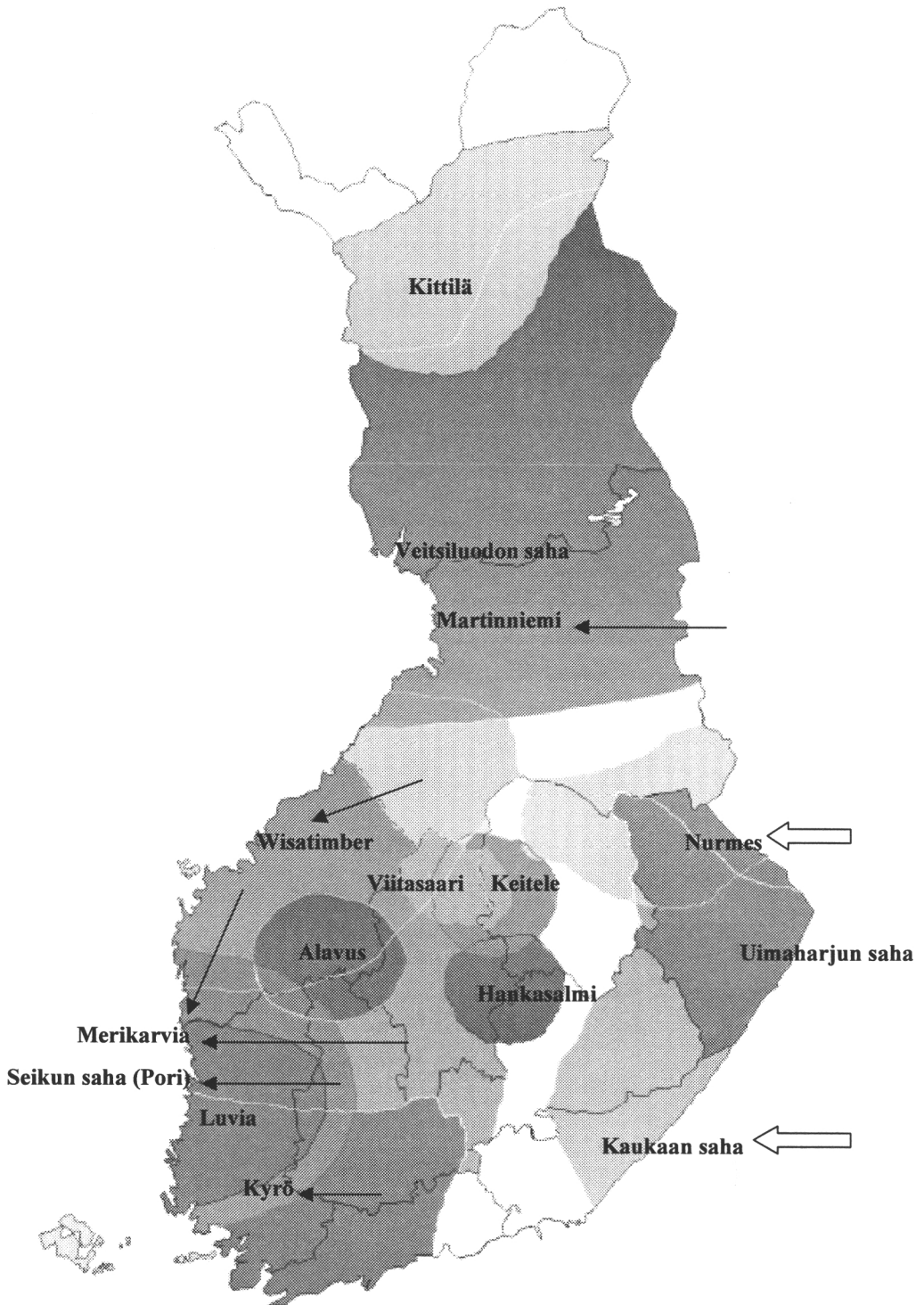
- Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 61(5):1-98.
- 1968. Geographical variation of some properties on pine and spruce pulpwood in Finland. Seloste: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 66(8):1-60.
 - 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. Seloste: Järeitten mänty- ja kuusipuitten oksien paino ja koostumus. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(6):1-47.
 - 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 96(3):1-59.
 - & Rikkinen, P. 1970. Kuusitukit puumassan raaka-aineena. Summary: Spruce saw logs as raw material of pulp. *Folia Forestalia* 92. 16 s.
 - & Saikku, O. 1972. Kuoriprosentin määrittäminen sahanhakkeesta. Summary: Measurement of bark percentage in saw mill chips. *Folia Forestalia* 135. 12 s.
- Haygreen, J.G. & Bowyer, J.L. 1989. *Forest Products and Wood Science*. Second Edition. Iowa State University Press. Iowa. 500 s.
- Heiskanen, H. & Paajanen, T. 1997. Sahakoneiden vertailu. OTAWOOD -ryhmän tutkimuksia. Teknillinen korkeakoulu, Puuteknikka. Espoo. 91 s.
- Heiskanen, V. & Rikkinen, P. 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. *Folia Forestalia* 250. 67 s.
- Kellomäki, S. & Salmi, J. 1979. Koivuvaneritukkien kuoren määrä. Summary: Bark quantity of birch logs. *Folia Forestalia* 413. 16 s.
- Klemetti, U. 1987. Hakkeen palakoon hallinta. Insko. 28 s. Moniste.
- Koponen, H. 1995. Puulevytuotanto. Opetushallitus. Kustannus Oy Gummerus. Helsinki. 212 s.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. 415 s.

- Maa- ja metsätalousministeriö. 1972. Puutavaran mittaussääntö. 17.11.1972 / 753.
- Marjomaa, J. & Pietarinen, H. 1996. Hakkeen mittaustilastointi varastomuodostelmassa. Metsätehon raportti 6. Helsinki. 25 s.
- Mikkola, E. (toim.). 1997. Metsätilastollinen vuosikirja 1996. SVT, Maa- ja metsätalous 1996:3. 352 s.
- Paajanen, H. 1988. Hakkeen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Puumies 10: 37-38.
- Ranta, E., Rita, H & Kouki, J. 1989. Biometria: tilastotiedettä ekologeille. Yliopistopaino. Helsinki. 569 s.
- Sahateollisuus, Mekaaninen metsäteollisuus 2. 1986. Ammattikasvatustieteiden tutkimuskeskus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys ry. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 290 s.
- Saikku, O & Rikkinen, P. 1976. Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount of pulpwood and factors affecting it. Folia Forestalia 262. 22 s.
- SCAN-CM 40:94. 1994. Massanvalmistuksessa käytettävä hake, kokojakauma. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Uusittu suomenkielinen käännös.
- SCAN-CM 42:95. 1995. Massanvalmistuksessa käytettävä hake, kuoripitoisuus. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Uusittu suomenkielinen käännös.
- SCAN-CM 43:95. 1995. Massanvalmistuksessa käytettävä hake, kuiva-tuoretiheys. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Uusittu suomenkielinen käännös.
- Sipi, M. 1998. Sahatavaratuotanto. Opetushallitus. Hakapaino Oy. Helsinki. 190 s.
- Uusvaara, O. 1969a. Sahanhake ja paperipuu-hake massan raaka-aineena. Sahamies 1. Satakunnan maakunta Oy. Kokemäki. 5 s.
- 1969b. Sahanhakkeen tiheydestä ja painosta. Puumies 1-2/1969. Jyväskylä. 3 s. Eripainos.
- 1971. Vaneritehtaan jätepuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Summary: On the properties of chips prepared from plywood plant waste. Folia Forestalia 107.17 s.

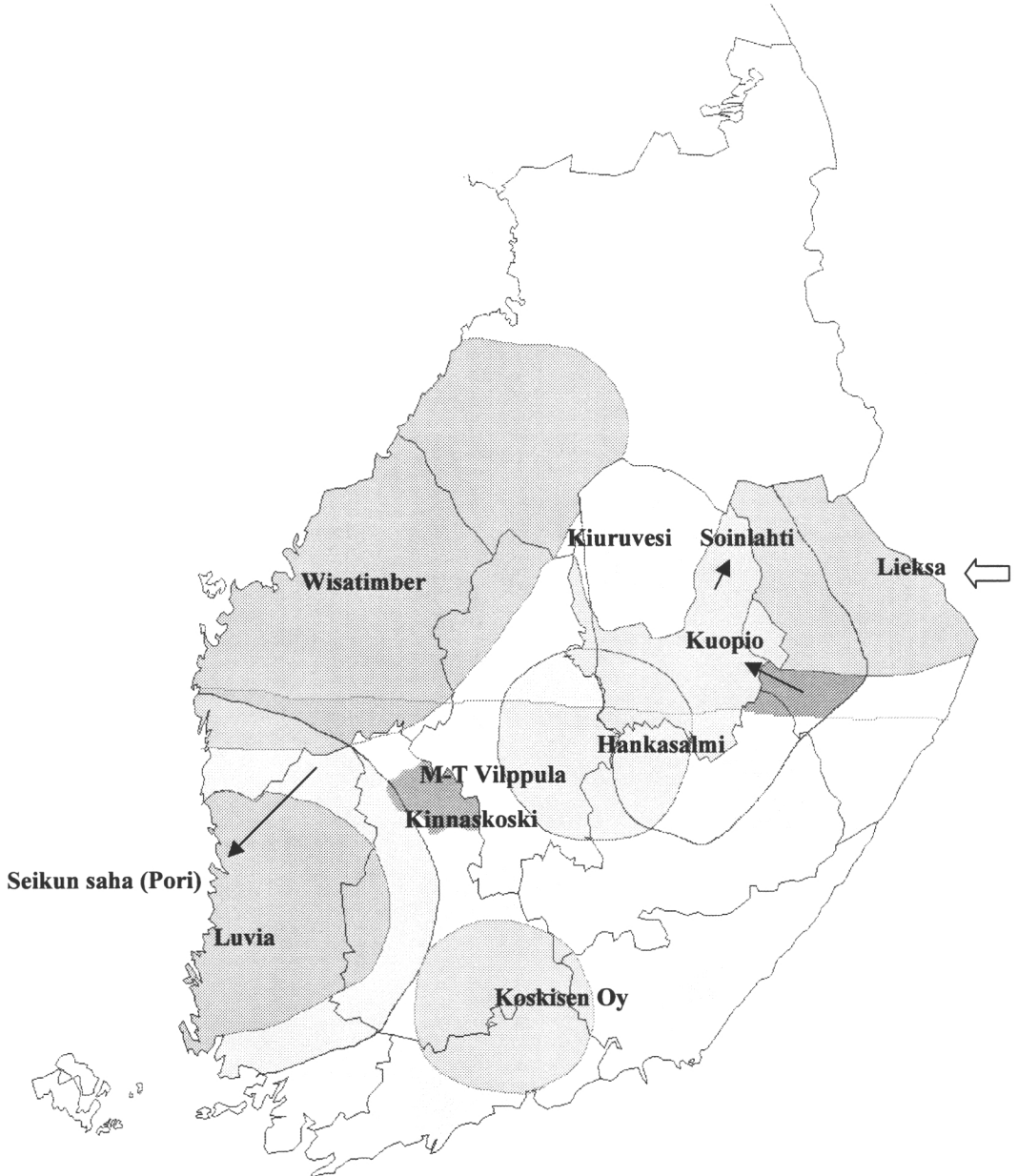
- 1972a. Sahanhakkeen laadusta ja ominaisuuksista sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Sahamies 2. Satakunnan maakunta Oy. 6 s. Eripainos.
 - 1972b. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of sawmill chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75(4): 1-50.
 - 1978. Teollisuushakkeen ja purun painomittaus. Summary: Weight scaling of industrial chips and sawdust. Folia Forestalia 341. 18 s.
 - 1986. Sahanhakkeen painomittaus. Summary: Weight scaling of saw mill chips. Folia Forestalia 668. 15 s.
 - & Heiskanen, V. 1975. Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadunmääritys Suomessa. Summary: Preparation, handling, measurement and quality determination of sawmill chips in Finland. Folia Forestalia 234. 23 s.
- Vaneriteollisuus, Mekaaninen metsäteollisuus 1. 1985. Ammattikasvatus hallitus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys r.y. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 289 s.
- Verkasalo, E. 1990. Seulontanäytteiden otto ja tulosten laskenta sahanhakkeen hinnoittelua varten. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 358. 25 s.
- Vuollet, E. & Merikallio, T. 1998. Ostohakkeen kuivamassan muuntaminen kiintotilavuudeksi. Mittaportti Oy, Rauma. Moniste. Rajoitettu jakelu.

Yhteensä 35 kpl





Kuusisahanhakkeen toimittajien hankinta-alueet



TEOLLISUUSHAKKEEN MITTAUKSEN MUUNTOKERTOIMET –TUTKIMUS**Hakekuormakortti**

METLA / Lindblad 1999

Hakkeen toimittaja täyttää

1. Hakkeen toimittaja (tuotantolaitos) _____

2. Toimituspäivämäärä _____

3. Hakelaji (ympyröi)

1. mäntysahanhake	4. parrunveistohake, mänty
2. kuusisahanhake	5. parrunveistohake, kuusi
3. koivuviuluhake	

4. Hake-erän raaka-aine (toimittajan arvio, yht. 100 %)

1. normaalitukki _____
2. pikkutukki _____

5. Tukkien läpimittaluokka, jos tiedossa (cm)

1. normaalitukki _____
2. pikkutukki _____

6. Hake-erän raaka-ainekoostumus (ympyröi kuorman sisältämät tyypit ja merkitse viivalle (+), jos haketyyppiä tavallista enemmän ja (-), jos tavallista vähemmän.)

sahat:

1. pintahake ja särmäysjäte _____

2. tuoreet tasauspätkät _____

3. kuivat tasauspätkät _____

vaneritehtaat:

1. tukkien katkontajäte _____

2. pyörästysjäte _____

3. purilaat _____

4. viulun märkäleikkausjäte _____

Täytetään vastaanottajan laboratoriossa

1. Hakkeen käyttäjä (tuotantolaitos) _____

2. Näytteen numero (1 – 50) _____

Hakkeen toimittajakohtaiset seulontatulokset

Toimittaja	Kollektiivi	Näytteiden lkm	Ylipitkä	Ylipaksu	Suuri aksepti	Pieni aksepti	Tikkujae	Puru	Kuori-pitoisuus
			>45mm	>8 mm	>13 mm	>7 mm	>3 mm	< 3 mm	
Osuus tuoremassasta, %									
1	60	1	0,5	8,4	77,0	12,4	1,2	0,4	
2	61	2	0,3	9,6	70,3	18,5	1,1	0,3	
3	60	3	0,3	5,2	67,2	21,4	4,1	0,7	
4	61	1	1,3	28,3	61,3	8,74	0,27	0,1	
5	60	1	1,3	7,8	72,8	16,0	1,5	0,5	
6	61	1	0,2	11,5	75,0	12,7	0,5	0,2	
7	61	1	1,3	5,7	70,3	20,8	1,7	0,3	
8	61	23	0,7	9,5	76,0	13,0	0,6	0,2	0,6
9	61	13	0,0	6,1	67,8	22,6	3,3	0,3	0,3
10	61	11	0,0	7,2	71,8	19,6	1,1	0,3	0,9
11	61	*)	0,1	7,6	68,1	17,8	5,2	0,3	0,3
12	60	*)	0,3	5,3	65,2	20,9	7,0	1,3	0,2
13	62	*)	0,1	7,2	69,8	18,2	4,2	0,6	0,2
14	66	*)	0,1	12,4	35,1	30,8	21,3	0,3	1
15	61	*)	0,1	6,0	71,0	21,2	1,4	0,2	0,2
16	60	*)	0,1	7,1	67,0	22,1	3,3	0,4	0,3
17	66	*)	0,1	2,3	58,0	34,4	4,9	0,2	0,2
18	62	*)	0,0	7,6	62,1	23,0	6,2	1,1	0,3
19	60	*)	0,5	8,1	64,1	23,2	3,8	0,3	0,1
20	60	*)	0,1	4,3	76,1	18,0	1,0	0,5	
21	60	*)	0,1	7,2	72,5	18,1	1,5	0,6	
22	60	*)	0,1	4,9	77,6	15,4	1,8	0,2	
23	61	2	0,5	9,2	72,7	15,7	1,6	0,4	
24	61	2	0	5,6	76,0	15,3	1,9	1,3	
25	61	1	0	7	81,8	9,8	1,1	0,3	
26	61	19	0,4	8,6	73,5	16,7	0,7	0,2	
27	61	9	0,6	8,2	71,2	16,4	3,3	0,3	
28	60	17	0,3	9,2	78,2	9,9	1,9	0,4	

*) Keskimääräiset seulontatulokset kuukauden pituiselta seurantajaksolta.

Kollektiivit: kuusisahanhake	60
mäntysahanhake	61
havusahanhake	62
koivuviiluhake	66



SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD TESTING COMMITTEE

DENMARK • FINLAND • NORWAY • SWEDEN • DENMARK • FINLAND • NORWAY • SWEDEN • DENMARK • FINLAND • NORWAY • SWEDEN • DENMARK • FINLAND • NORWAY • SWEDEN

Massanvalmistuksessa käytettävä hake

Kuiva-tuoretiheys

0 Johdanto

Tämä SCAN-test-standardi korvaa menetelmän SCAN-CM 43:89. Menetelmien väliset erot ovat lähinnä toimituksellisia. Uusittuun standardiin on otettu mukaan myös menetelmän tarkkuutta koskevat tiedot.

1 Tarkoitus

Tässä standardissa kuvataan laitteisto ja menetelmä kemiallisen ja mekaanisen massan valmistukseen käytettävän hakkeen kuiva-tuoretiheyden määrittämiseksi. Liitteessä annetaan lisäksi ohjeet kuiva-tuoretiheyden määrittämiseksi puunrunгон poikkileikkausta edustavista kiekkoista.

2 Viitteet

- SCAN-CM 39 Massanvalmistuksessa käytettävä hake –
Kuiva-ainepitoisuus
- SCAN-CM 40 Massanvalmistuksessa käytettävä hake –
Kokojakauma
- SCAN-CM 41 Massanvalmistuksessa käytettävä hake –
Näytteenotto

3 Määritelmät

Tässä standardissa käytetään seuraavia määritelmiä:

- 3.1 *Kuiva-tuoretiheys* – Puunäytteen kuivamassan ja tuoretilavuuden suhde.
- 3.2 *Tuoretilavuus* - Puunäytteen kiintotilavuus, kun näyte on tasapainossa sitä ympäröivän veden kanssa.
- 3.3 *Irtotiheys* – Hakenäytteen kuivamassan ja irtotilavuuden suhde, kun hake on pakattu ilman puristusta.

4 Periaate

Kuoretonta haketta liotetaan vedessä. Hakepalasten pintaan jäänyt vesi poistetaan sentrifugoimalla, mutta ei hakepalasten sisällä huokosissa olevaa vettä. Hake upotetaan sen jälkeen uudelleen vaa'alla olevaan vesiasiaan. Upotetun hakkeen näennäistä massaa käytetään tuoretilavuuden mittana. Hake kuivatetaan ja kuivan hakkeen massa määritetään. Kuiva-tuoretiheys lasketaan.

5 Laitteet

5.1 *Alumiinifolioastia* hakkeen punnitsemiseksi.

5.2 *Hakkeen koeseula*, SCAN-CM 40:ssä kuvatun kaltainen.

5.3 *Liotusastia*, johon hakenäyte voidaan upottaa kokonaan. Astiassa on laite, joka pitää näytteen kokonaan veden alla.

5.4 *Rumpusentrifugi*, jossa on pystysuora akseli ja nopeudensäätö, jonka avulla rummun kehällä saavutetaan noin 100 g:n keskipakovoima ($g = 9,806 \text{ m/s}^2$, vapaan pudotuksen kiihtyvyys).

Huomautus – Sentrifugin vaadittava pyörimisnopeus n (ilmaistuna kierroksina minuutissa) voidaan laskea yhtälöstä:

$$n = 29,905(F/r)^{1/2}$$

jossa

F on keskipakovoima rummun kehällä vapaan pudotuksen kiihtyvyyden (g) kerrannaisena ilmaistuna;

r on rummun säde, metrejä.

5.5 *Inertistä materiaalista valmistettu lieriö*, joka asetetaan sentrifugirummun keskelle silloin, kun rumpua täytetään hakkeella. Lieriön tehtävänä on ohjata hake lähelle rummun kehää.

5.6 *Näytekori*, lieriömäinen, kannellinen, tilavuus vähintään 3 l, valmistettu ruostumattomasta teräksestä tehdystä verkosta, jonka reikäkoko on 2 x 2 mm. Suositeltava halkaisija on 170 mm ja korkeus 200 mm.

5.7 *Vesiastia*, mieluiten läpinäkyvästä materiaalista ja niin iso, että näytekori mahtuu siihen. Näytekori on voitava sijoittaa astiaan siten, että se on kokonaan veden alla mutta ei kuitenkaan kosketa astian seinämiä.

5.8 *Pidike*, jota käytetään upotettua koria punnitessa.

5.9 *Kuivatuskaappi*, säädettävissä $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$:seen, sopivalla tuuletuksella varustettu.

5.10 *Vaaka*, kapasiteetti noin 15 kg, tarkkuus ja luettavuus 0,5 g.

6 Näytteen ottaminen ja valmisteleminen

Näytteenottomenettelyä ei kuvata tässä standardissa. Sopiva näytteenottomenettely on esitetty standardissa SCAN-CM 41.

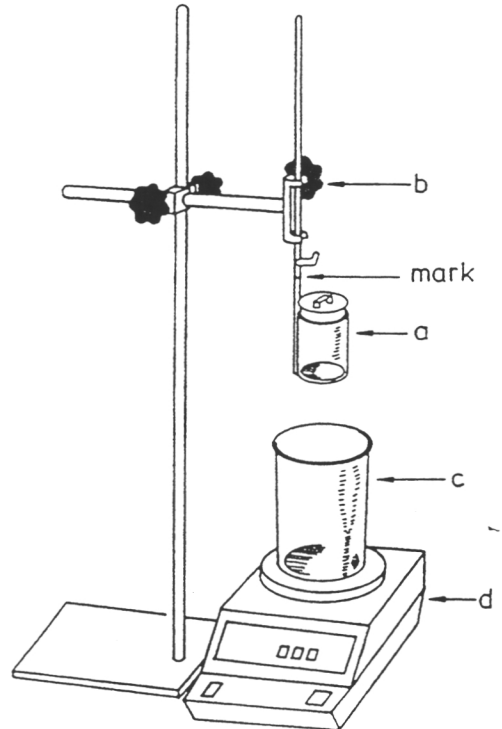
Valmistele näyte seuraavalla tavalla: Seulo 8 – 10 l:n suuruinen hakenäyte standardissa SCAN-CM 40 kuva-

tulla tavalla. Poista jakeet 1 ja 5 (ylisuuri hake ja purujae). Poista jäljelle jääneistä jakeista (2, 3 ja 4) kaikki kuorenpalaset ja hakepaloissa kiinni oleva kuori. Sekoita kuorettomat jakeet huolellisesti.

Huomautus – Jos näytettä ei jostakin syystä ole valmisteltu tällä tavalla, on siitä erikseen mainittava tutkimusselostuksessa.

7 Suoritus

Täytä vesiastia (5.7) huoneenlämpöisellä vedellä, ei kuitenkaan yli 25°C :n lämpötilaisella, ja sijoita se vaa'alle (5.10). Kiinnitä tyhjä näytekori (5.6) pidikkeeseen (5.8). Esimerkki laitteistosta on esitetty kuvassa 1. Säädä kori pidikkeessä olevan merkin mukaan niin, että se on kokonaan veden alla. Merkitse vaa'an lukema muistiin, tai jos vaa'assa on taarauslaite, säädä vaa'an lukema nolllaksi.



Kuva 1. Esimerkki hakkeen tuoretilavuuden määrittämisessä tarvittavasta laitteistosta.

- (a) on näytekori hakkeelle (5.6);
- (b) on pidike (5.8);
- (c) on vesiastia (5.7);
- (d) on vaaka (5.10).

Suorita seuraava menettely vähintään kolmella rinnakkaisnäytteellä.

Upota 2 – 3 litraa esivalmisteltua hakenäytettä kokonaan huoneenlämpöiseen veteen vähintään 4 tunniksi, mutta enintään 3 vuorokaudeksi. Nosta hake vedestä ja laita se sentrifugiin. Syötä hake sentrifugirumpuun niin, että hakepalaset pakkautuvat lieriön (5.5) ohjaamina mahdollisimman lähelle rummun kehää. Poista lieriö ja anna sentrifugin käydä 2 min ennalta määrätyllä nopeudella (katso liite B).

Huomautus – Vältä liian voimakasta sentrifugointia, joka saattaa aiheuttaa hakepalasien sisällä huokosissa olevan veden korvautumisen ilmalla. Tietyllä sentrifugille sopiva nopeus voidaan määrittää liitteessä B kuvatulla menetelmällä.

Siirrä hake heti näytekoriin (5.6) tuoretilavuuden määrittämiseksi ja upota se kokonaan vesiastiaan (5.7). Kierrä tai ravista näytekorin varmistukseksi, että kaikki hakepalasiin tarttunut ilma poistuu.

Pidä näytekori koko ajan veden alla, kun kiinnität sitä pidikkeeseen (5.8). Säädä pidike siten, että veden pinta on pidikkeessä olevan merkin tasalla, ja tarkista, ettei kori kosketa astian seinämiä. Tarkista, ettei veden lämpötila ole yli 25 °C. Merkitse vaa'an lukema muistiin.

Poista kori vesiastiasta ja siirrä hake yhteen tai useampaan alumiinifolioastiaan. Kuivata hake kuivatuskaapissa (5.9) 105 °C:ssa SCAN-CM 39:ssä kuvatulla tavalla ja määritä sen kuivamassa.

8 Tuloksen laskeminen ja ilmoittaminen

Laske kuiva-tuoretiheys erikseen kullekin kolmesta näytteestä käyttäen yhtälöä

$$X = \frac{cp}{(b-a)}$$

jossa

- X* on kuiva-tuoretiheys, kilogrammoja kuutiometrissä;
a on tyhjällä korilla saatu vaa'an lukema, grammoja;
b on täydellä korilla saatu vaa'an lukema, grammoja;
c on kuivatetun hakkeen massa, grammoja;
p on veden tiheys = 1000 kilogrammaa kuutiometrissä.

Laske kolmen tuloksen keskiarvo ja ilmoita se lähimmän kokonaisluvun tarkkuudella.

Tutkimuselostuksessa tulee mainita tämä SCAN-test-standardi ja seuraavat seikat:

- suorituksen aika ja paikka;
- näytteen merkki ja maininta siitä, onko näyte otettu SCAN-CM 41:ssä kuvatulla tavalla;
- tulos;
- poikkeamat standardin suoritustavasta ja muut seikat, jotka ovat voineet vaikuttaa tulokseen.

9 Tarkkuus

Kuusi-, mänty- ja koivuhakenäytteiden kuiva-tuoretiheys määritettiin kahdessa laboratoriossa seuraavien tuloksin:

Näyte	Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³		
	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Lab. välinen
Mänty	361 362 364	363 359 366	
\bar{x} CV*, %	362 0,4	363 1,0	363 0,7
Kuusi	416 416 418	419 416 416	
\bar{x} CV*, %	417 0,3	417 0,4	417 0,3
Koivu	519 521 523	522 523 520	
\bar{x} CV*, %	521 0,4	522 0,3	522 0,3

* CV on variaatiokerroin

10 Kirjallisuus

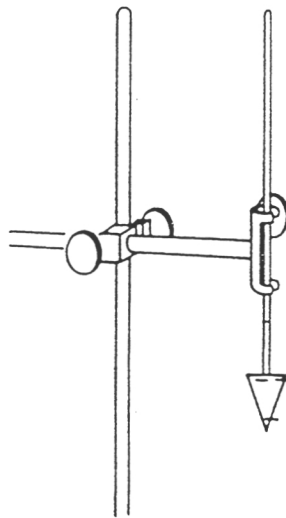
Grundelius, R.: Determining the basic density of wood chips. Tappi Journal 73:4, 183 – 189 (1990).

Liite A – Puukiekoista määritetty kuiva-tuoretiheys

Tässä standardissa kuvattua menetelmää voidaan seuraavien pienin muutoksin soveltaa puukiekkoihin:

Poista liottamisen jälkeen ylimääräinen vesi kiekkoista pyyhkimällä niitä varovasti imukykyisellä liinalla. Älä käytä sentrifugia.

Tuoretilavuuden määrittämisessä ei tarvita näytekoraa, jos kuvan 1 mukainen pidike korvataan kuvan 2 mukaisella pidikkeellä, johon kiekko voidaan kiinnittää pystysuoraan asentoon.



Kuva 2. Esimerkki puukiekkojen tuoretilavuuden määrittämiseen sopivasta pidikkeestä.

Liite B – Menetelmän tarkistaminen

Suorita seuraava menettely ainakin kahdella tutkittavaa puulajia edustavalla kiekolla.

Liota kiekkoja upottamalla ne kokonaan huoneenlämpöiseen veteen. Määritä kunkin liotetun kiekon tuoretilavuus liitteessä A kuvatulla tavalla. Laske kunkin kiekon tuoretilavuus.

Leikkaa kiekot veitsen avulla hakkeeksi. Ota muodostunut puru erikseen talteen. Kuivata ja punnitse puru.

Määritä kustakin kiekosta saadun hakkeen kuiva-tuoretiheys kohdassa 7 kuvatulla tavalla.

Laske kunkin kiekon kuiva-tuoretiheys. Käytä kiekon kuivamassana hakkeen ja purun yhteenlaskettua massaa.

Laske kullekin kiekolle hakkeesta ja kiekosta määritettyjen kuiva-tuoretiheyksien ero. Jos keskimääräinen ero ylittää 4 kg/m^3 , säädä sentrifugin pyörimisnopeutta ja toista menettelyä, kunnes tämä lukuarvo ei ylity.

SCAN-test-standardeja julkaisevat ja suosittelevat Norjan, Ruotsin, Suomen ja Tanskan massa-, paperi- ja kartonkiteollisuuden keskuslaboratoriot. Jakelun hoitavat asianomaisten maiden keskuslaboratoriot.

Etukannen kuvat:

Vas. ylh.

Hakekuorman purkaminen Veitsiluoto Oy:n Kemin Tehtailla
(nykyisin Stora Enso Oy:n Veitsiluodon tehtaat).

Kuva: Olli Eeronheimo

Kesk.

Puun vastaanotto ja hakkeen varastointi UPM-Kymmene Oy:n Kaukaan tehtailla.

Kuva: Erkki Oksanen

Oik. alh.

Hakkeen siirto varastoihin Veitsiluoto Oy:n Kemin tehtailla
(nykyisin Stora Enso Oy:n Veitsiluodon tehtaat).

Kuva: Erkki Oksanen

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 747, 1999

ISBN 951-40-1698-X

ISSN 0358-4283