

Jari Lindblad



Erkki Verkasalo

Jari Lindblad ja Erkki Verkasalo

Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys ja paino- mittauksen muuntokertoimet

Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2001: 411–431.

Vuosina 1999–2001 toteutetuissa tutkimuksissa määritettiin mänty- ja kuusisahakkeen ja koivuvanerihaakkeen sekä mänty-, kuusi-, koivu- ja haapakuitupuuhakkeen tehdas- ja suuraluekohtaiset kuiva-tuoretiheydet. Kuiva-tuoretiheyksistä laskettiin edelleen suositukset hakkeen kuivamassan ja kuorellisen/kuorettoman kiintotilavuuden väliselle muuntokertoimelle.

Teollisuushakeaineisto, yhteensä 647 näytettä, hankittiin yhdeksältä ja kuitupuuhakeaineisto, yhteensä 953 näytettä, 13 massa- tai paperitehtaalta ympäri Suomea. Mäntysahakkeen toimittajien hankinta-alueet kattoivat lähes koko maan ja kuusisahakkeella Oulun läänin eteläpuolisen osan maasta. Parrunveisto- ja koivuvanerihaakkeen toimittajia oli kaksi. Männyn, kuusen ja koivun kuitupuuhakeaineisto oli maantieteellisesti kattava, haapakuitupuuhakeaineistoa kerättiin yhdeltä tehtaalta.

Mäntysahakkeen kuiva-tuoretiheydessä oli selvä ero Etelä-Suomen (435 kg/m^3) ja Pohjois-Suomen (407 kg/m^3) välillä, minkä vuoksi ko. alueille suositellaan omia muuntokertoimia. Kuusisahakkeella keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 404 kg/m^3 ja koivuvanerihaakkeella 496 kg/m^3 ; näille hakelajeille suositellaan Etelä-Suomeen yhtä muuntokerrointa.

Mäntykuitupuuhakkeella keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli Etelä-Suomessa 409 kg/m^3 ja Pohjois-Suomessa 395 kg/m^3 . Ensiharvennusmännnyllä tiheys oli $4\text{--}9 \text{ kg/m}^3$ alempi kuin normaali-männnyllä, ero oli verraten pieni. Kuusikuitupuuhakkeella kuiva-tuoretiheys oli Etelä-Suomessa 393 kg/m^3 ja Pohjois-Suomessa 408 kg/m^3 ; selluloosa- ja hiomokuitupuun välillä ei ollut eroa. Koivukuitupuuhakkeella tiheys oli Etelä-Suomessa 494 kg/m^3 ja Pohjois-Suomessa 481 kg/m^3 . Haapahakkeen keskimääräinen tiheys oli 388 kg/m^3 .

Asiasanat: hake, tiheys, mittaus, painomittaus, muuntokertoimet

Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu

faksi (013) 251 4111, sähköposti jari.lindblad@metla.fi, erkki.verkasalo@metla.fi

Hyväksytty 7.9.2001

I Johdanto

I.1 Tausta

Massa-, paperi- ja levyteollisuuden raaka-aineeksi käytetään sekä teollisuushaketta että kuitupuuhaketta. Teollisuushake on mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteina sahauksesta, viulun sorvauksesta ja leikkauksesta, pylväiden ja parrujen sorvauksesta ja jossain määrin myös muusta puuntyöstöstä saatavista puujätteistä valmistettua haketta. Kuitupuuhake valmistetaan kuorituista pölkkyistä ja rungonosista. Teollisuuden raaka-aineena ja energian tuotannossa käytetään vaihtelevassa määrin myös rungon kuorta, oksia, latvuksia ja vihermassaa sisältäviä hakelajeja, ranka-, osapuu-, kokopuu- ja hakkuutähdehaketta.

Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen suhteellinen merkitys massa-, paperi- ja levyteollisuudessa vaihtelee huomattavasti maittain ja alueittain (Verkasalo 1992, Kellomäki 1998). Suomi on ollut 1950-luvulta lähtien edelläkävijä teollisuushakkeen raaka-ainekäytössä. Vuosina 1990–99 mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden osuus puumassateollisuuden vuotuisesta puunkäytöstä on vaihdellut 16–24 % (5,4–11,7 milj. m³) ja kuitupuuhakkeen osuus 76–84 % (29,4–36,9 milj. m³) (Sevola 2001).

Puuaineen tiheys on keskeinen massa-, paperi- ja levyteollisuuden raaka-aineiden laatua ja arvoa kuvaava suure (esim. Hakkila 1966, Kellomäki 1998). Se on myös tärkeä kohdemuuttuja massa-, paperi- ja levyteollisuuden raaka-aineen määrän ja laadun mittauksessa. 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 (esim. Hakkila 1966, Uusvaara 1969, Kärkkäinen 1985). Puun poikkileikkauksen suuntaiset tiheyden vaihtelut johtuvat lähinnä kasvunopeuden ja kesäpuuprosentin eroista sekä soluseinämien paksuuden vaihtelusta (esim. Hakkila 1979). Männyllä ja koivulla puuaineen tiheys kasvaa jatkuvasti ytimeistä pintaan päin (Hakkila 1966, Kärkkäinen 1985). Kuusella muutos ei ole yhtä selkeä ja säännönmukainen vaan tiheys laskee aluksi ytimeistä pintaan päin kohoten tämän jälkeen puun pintaa kohti; järeillä kuusilla pintaosan tiheys on

korkea, sillä poikkileikkauksen tiheys kasvaa vielä 150 vuosiluston päässä ytimeistä (Hakkila 1966).

Mikäli puuaineen tiheys kasvaa ytimeistä pintaan päin, se tavallisesti alenee tyvestä latvaan päin (Kärkkäinen 1985). Männyllä tiheys alenee erityisen voimakkaasti kannonkorkeudelta 10–20 %:n suhteelliselle korkeudelle (Hakkila 1966). Raudus- ja hieskoivulla tiheyden muutos rungon pituussuunnassa on samansuuntainen kuin männyllä mutta huomattavasti vähäisempi. Kuusella tiheys alenee aluksi tyvestä latvaan päin, mutta tiheys alkaa jälleen kohota 60–70 %:n suhteellisella korkeudella ja saavuttaa latvassa suunnilleen tyven tiheystason.

Paksuuskasvunopeus (vuosiluston leveys) vaikuttaa puuaineen tiheyteen: vuosiluston leventyessä puuaineen tiheys yleensä alenee. Tämä johtuu Suomen oloissa likimain vakiosta kesäpuuvyöhykkeen leveydestä, jolloin vuosiluston leventyessä kesäpuuta huokoisemman kevätpuun osuus kasvaa ja keskimääräinen tiheys alenee (Kärkkäinen 1985). Havupuilla rungon keskimääräinen tiheys alenee kasvupaikan viljavuuden parantuessa. Ainakin luontaisesti syntyneellä koivulla tilanne on havupuihin nähden päinvastainen; hyvillä kasvupaikoilla koivujen tiheydet ovat huonojen kasvupaikkojen koivuja hieman korkeampia (Hakkila 1966).

Männyn puuaine on tiheintä Pohjanmaan ja Kainuun leveysasteiden tasalla, josta tiheys alenee sekä etelään että pohjoiseen päin (Hakkila 1968); tiheys on alhaisimmillaan pohjoisessa pienen kesäpuun osuuden vuoksi (Hakkila 1979). Kuusen puuaineen tiheys kasvaa etelästä pohjoiseen ja saavuttaa korkeimman tasonsa Tornio–Kuusamo linjan eteläpuolella, jonka jälkeen tiheys laskee hieman (Hakkila 1968). Kuusella tiheyden maantieteellinen vaihtelu on vähäisempää kuin männyllä. Männyllä kesäpuuprosentti ja kuusella kesäpuuprosentti ja vuosiluston leveys selittävät suurimman osan tiheyden alueellisesta vaihtelusta (Hakkila 1968).

Sahahake saadaan pääasiassa puun pintaosista. Täällä kuidut ovat pitempiä, soluseinämät paksumpia, kesäpuuosuus suurempi ja tavallisesti puuaineen tiheys korkeampi kuin rungossa keskimäärin (esim. Hakkila 1966, Kärkkäinen 1985). Puuaineen oksaisuus on myös vähäisempää puun pintaosissa kuin rungossa keskimäärin ja oksapuussa tiheys on säännöllisesti korkeampi kuin runkopuussa (Hakkila 1968). Näistä syistä sahakkeen tiheys on yleensä

korkeampi kuin kuitupuuhakkeen tiheys (Sahateollisuus 1986, Sipi 1998). Pylväiden ja parrujen sorvasjätteestä saatava hake vastaa koostumukseltaan pitkälti sahaketta. Vaneri- ja viuluhakkeet eroavat em. hakelajeista siten, että ne sisältävät pinta-osien pyöritys- ja sorvasjätteen (n. 66 %) lisäksi puun ytimen ympäriltä saatavan purilasjätteen (n. 26 %) ja pölkkyjen katkontajätteen (n. 8 %) (Verkasalo 1992, Koponen 1995, Sipi 1998).

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

Tietoja teollisuus- ja kuitupuuhakkeen tiheydestä tarvitaan kuituraaka-aineiden arvon vertailua, puunkulutuslukupien arviointia, raaka-ainetaselaskentaa ja puutavarakirjanpitoa varten, sekä siirtohintojen ja joskus myös kuljetus- ja tehdaskäsittelymaksujen määrittämiseen. Erityisesti tietoja tarvitaan, koska yritysten tehdasosastoilla seurataan raaka-ainekysymyksiä massan, lähinnä kuivamassan perusteella ja metsäosastoilla kuorellisen tilavuuden perusteella. Teollisuushake mitataan raaka-ainekaupan ja kuljetusten maksuja varten punnitukseen ja kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseen perustuvalla painomittauksella ja kuitupuuhakkeen valmistukseen käytettävä raaka-aine kuorellisen tilavuuden määrittämiseen perustuvalla tilavuusmittauksella. Perustiedot tiheydestä ovat tarpeellisia kuitupuun painomittauksen kehitystyössä pitkällä tähtäyksellä. Edellä mainittuja tarkasteluja ja vertailuja varten on käytettävissä oltava ajantasaiset puu- ja raaka-ainelajikohtaiset tiheysluvut ja paino- ja tilavuusmittauksen väliset muuntokertoimet.

Hakkeen muuntokertoimilla tarkoitetaan toimitus-tilassa olevan hakkeen kiintotilavuuden suhdetta sen massaan, yksikkönä m^3/tonni . Kääntäen kysymys on hakkeen kuiva-tuoretiheydestä, jonka yksikkönä on kg/m^3 . Vähäisen kuoren määrän (max 0,5–2 %) vuoksi hakkeen kuiva-tuoretiheys voidaan yleensä rinnastaa sen raaka-aineena olevan puuaineen (ml. oksapuu) kuiva-tuoretiheyteen.

Vielä 1970-luvulla ja 1980-luvun puolivälissä teollisuushakkeen luovutusmittauksen suurena käytettiin irto- eli kehystilavuutta, yksikkönä kuutio-

metri irtotilavuutta eli irtokuutiometri. Irtotilavuus muunnettiin kiintotilavuudeksi muuntokertoimella, joka perustui hakkeen tiiviyteen. Hakekuorman tiiviyteen vaikuttavien monien tekijöiden vuoksi irtotilavuusyksikön todellisen raaka-aineen määrän arviointi oli epätarkkaa. Näiden epävarmuustekijöiden ja mittauksen rationalisointitarpeen vuoksi mittausperusteena on käytetty vuodesta 1986 kuivamassaa.

Nykyisin painomittaus on vakiintunut hakkeen mittaamenetelmä kaikilla Suomen massa- ja paperitehtailla. Kuivamassa on luotettava ja yksiselitteinen mittayksikkö, joskin sen mittaaminen vaatii enemmän työvaiheita kuin tilavuuden mittaaminen. Hake-eristä on määriteltävä tuoremassa ja kuiva-ainepitoisuus kuivamassan laskemiseksi. Lasketut kuivamassat voidaan edelleen muuntaa kiintotilavuudeksi em. muuntokertoimilla.

Kehityksen seurauksena hakkeen käyttäjät ovat periaatteessa kiinnostuneita vain kuivamassasta, joka ilmaisee tuotantoprosessissa hyödynnettävän puuaineen määrän tilavuutta paremmin. Hakkeen lopullinen osto-/myyntihinta laskutusjaksolla määräytyy hakkeen kuiva-ainemäärän ja laadun perusteella. Hakkeen maksuperusteena on kuiva-ainetonnin, jonka perushintaa muutetaan hakkeen palakokojakautuksen ja kuoripitoisuuden mukaan (Heiskanen ja Paajanen 1997). Toimittajat eli sahat, vaneritehtaat ja veistämöt tarvitsevat lisäksi tiedot kiintotilavuudesta. Puutavaran mittaussuure on todellinen kuorellinen tilavuus.

Vuoteen 2000 käytössä olleet teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet on määritetty laskennallisesti Olli Uusvaaran Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvulla tekemien selvitysten perusteella (Uusvaara 1986). Tukkiraaka-aineen hankinnan ja mekaanisen puunjalostuksen toimintatavat ja olosuhteet ovat muuttuneet noista ajoista siinä määrin, että kertoimia ei voida enää pitää paikkansapitävinä. Käytettävissä tilassa olevan teollisuus- ja kuitupuuhakkeen tiheydestä ja muuntokertoimista ei ole myöskään julkaistu suoriin nykyaikaisin objektiivisin menetelmin toteutettuihin mittauksiin perustuvia tutkimuksia. Tosin metsäyhtiöt ovat tehneet omia tehdaskohtaisia mutta julkisesti raportoimattomia selvityksiään.

1.2 Tavoitteet

Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskuksessa toteutettiin vuosina 1999–2001 tutkimukset teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheydestä suurten puutavaramäärien tasolla. Kuiva-tuoretiheyttä koskevien tulosten perusteella laadittiin hakelaji- ja aluekohtaiset kuivamassan ja kuorettoman ja kuorellisen kiintotilavuuden väliset muuntokertoimet. Tutkimukset jakaantuivat kahteen osaan, joista ensimmäisessä vaiheessa toteutettiin teollisuushaketutkimukset (helmi–elokuu 1999) ja toisessa vaiheessa kuitupuuhaketutkimukset (tammi–elokuu 2000 – helmikuu 2001). Tutkimusten tuloksista on julkaistu tähän mennessä tekniset raportit sidosryhmäkäyttöön. Tämä julkaisu on vertaileva tieteellinen yhteenveto toteutetuista tutkimuksista.

Tutkimuksissa määritettiin hakeanalyysin Suomessa sijaitseville massa- ja paperitehtaille kotimaan mekaanisilta jalostuslaitoksilta toimitettavan mänty- ja kuusisahakkeen ja rajoitetussa määrin koivuvanerihaakkeen ja parrunveistohakkeen sekä vastaavien männyn, kuusen, koivun ja haavan kuitupuutavaralajien eristä valmistettavien hakelajien keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet. Alueittain vertailtiin Pohjois-, Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen tehtaiden haketta. Teollisuushakkeella tutkittiin lisäksi kuiva-tuoretiheyden alueellinen (mekaanisten jalostuslaitosten hankinta-alueet), tukkiraaka-aineesta johtuva (pikkutukki/normaalitukki, mahdollisuuksien mukaan läpimittaluokka) ja yksittäisten hake-

kuormien välinen vaihtelu. Kuitupuuhakkeella tarkasteltiin erikseen talvi- ja kesäkorjuusta tulevaa kuitupuuta, koska hakkuiden painopiste vaihtelee eri tavoin eri vuodenaikoina metsän kantavuusolojen ja hakkuutapojen mukaan sekä puolajeittain. Havukuitupuun osalta tarkastelu tarkennettiin männällä normaaliin ja ensiharvennuksista kertyvään kuitupuuhun ja kuusella hiomo- ja selluloosakuitupuuhun. Koivulla tutkittiin erikseen alkuperältään kotimaista ja venäläistä kuitupuuta.

2 Aineisto ja menetelmät

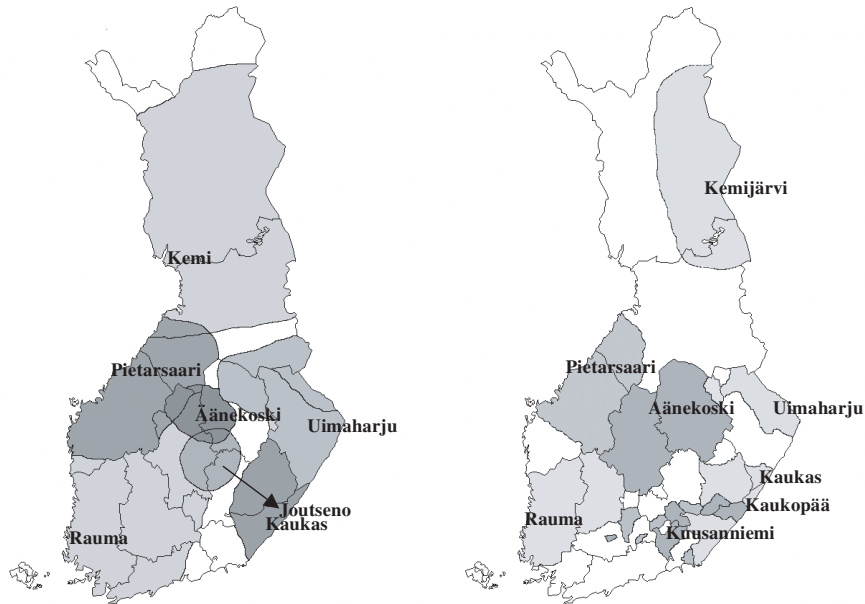
2.1 Aineistot

2.1.1 Teollisuushakeaineisto

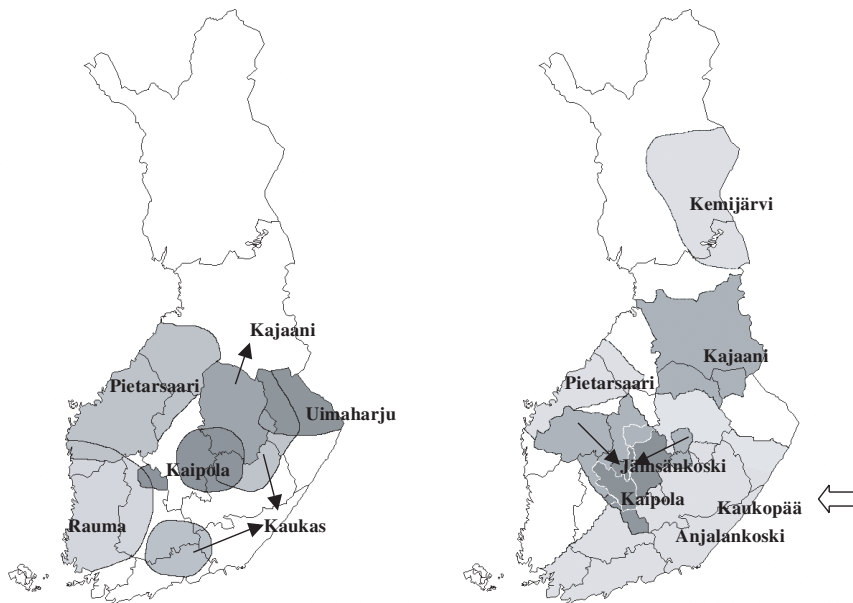
Teollisuushakkeesta kerättiin aineisto massa- ja paperitehtaille Suomessa sijaitsevilta mekaanisilta jalostuslaitoksilta (sahat, vaneritehtaat) toimitettavasta hakkeesta 1.3.–22.5.1999 taulukon 1 mukaisesti. Tehtaiden valinnassa otettiin huomioon aineiston maantieteellinen kattavuus ja mahdollisuudet näytteiden keruuseen eri hakelajeista. Toimittajat, joiden hakkeesta aineisto kerättiin, valittiin sekä massa- ja paperiteollisuuden konserneihin kuuluvista että niiden ulkopuolisista ns. itsenäisistä toimittajista. Joikaista hakkeen käyttäjää kohti valittiin 2–5 sahaa, vaneritehdasta tai veistämöä suuria hakkeen tuot-

Taulukko 1. Teollisuushakeaineiston lähteet alueittain, tehtaittain ja hakelajeittain.

Alue	Tehdas	Hakelaji
Pohjois-Suomi	Stora Enso, Kemi UPM-Kymmene, Kajaani	Mäntysahahake Kuusisahahake
Länsi-Suomi	UPM-Kymmene, Pietarsaari Metsä-Botnia, Rauma	Mänty- ja kuusisahahake, koivuvanerihaake, parrunveistohake Mänty- ja kuusisahahake
Keski-Suomi	Metsä-Botnia, Äänekoski Joutseno Pulp, Joutseno UPM-Kymmene, Kaipola	Mäntysahahake Mäntysahahake Kuusisahahake
Itä-Suomi	Stora Enso, Uimaharju UPM-Kymmene, Kaukas	Mänty- ja kuusisahahake Mänty- ja kuusisahahake, koivuvanerihaake, parrunveistohake



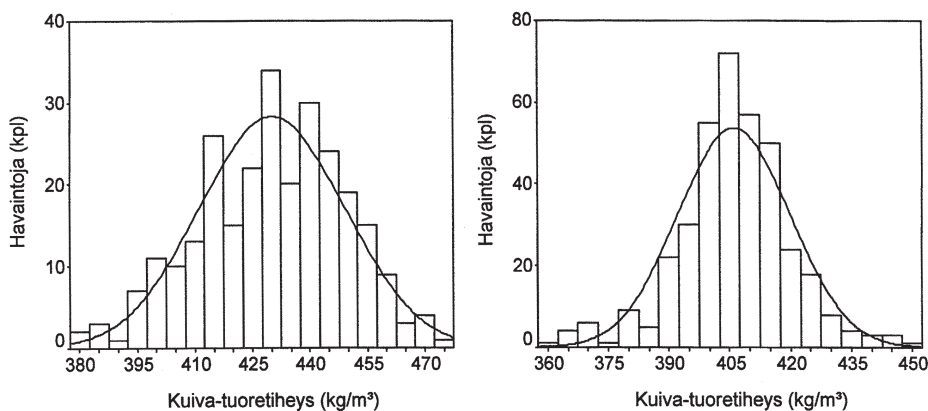
Kuva 1. Mäntysahakkeen toimittajien (vas.) ja mäntykuitupuun (oik.) hankinta-alueet tehtaittain.



Kuva 2. Kuusisahakkeen toimittajien (vas.) ja kuusikuitupuun (oik.) hankinta-alueet tehtaittain.

tajia painottaen. Vaneritehtaita ja veistämöitä oli molempia mukana kaksi. Hakenäytteiden saannin varmistamiseksi toimittajien valinnassa oli otettava huomioon hakkeen toimitusmäärät ja eri puulajien sahausjaksot kyseisenä lyhyehkönä tutkimuskautena. Lisäksi valintaan vaikutti tuotantolaitoksen

maantieteellinen sijainti. Tavoitteena oli mahdollisimman hyvä hankinta-alueiden kattavuus; Pohjois-Suomen kohdalla tästä tingittiin männyn ja kuusen sahausalueellisen painottumisen vuoksi. Mänty- ja kuusisahakkeen toimittajien hankinta-alueet on esitetty tehtaittain kuvissa 1 ja 2.



Kuva 3. Mäntysahahakkeen (vas.) ja mäntykuitupuuhakkeen aineistojen (oik.) jakaumat kuiva-tuoretiheyden mukaan.

Taulukko 2. Teollisuushakeaineiston näytemäärät hake- ja puulajeittain.

Hakelaji	Puulaji	Näytteet, kpl
Sahahake	Mänty	269
	Kuusi	294
Parrunveistohake	Mänty	16
	Kuusi	7
	Havuseka	20
Vanerihake	Koivu	41
Yhteensä		647

Sahahakenäytteitä 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, tyveen päin paksunevaa puutavaraa eli ns. egyptiparrua. Sahahakkeesta poiketen parrunveistohake koostuu kokonaisuudessaan puun pintaosista, koska hakkeessa ei ole mukana tasauspätkiä. Taulukossa 2 on esitetty näytemäärät hake- ja puulajeittain.

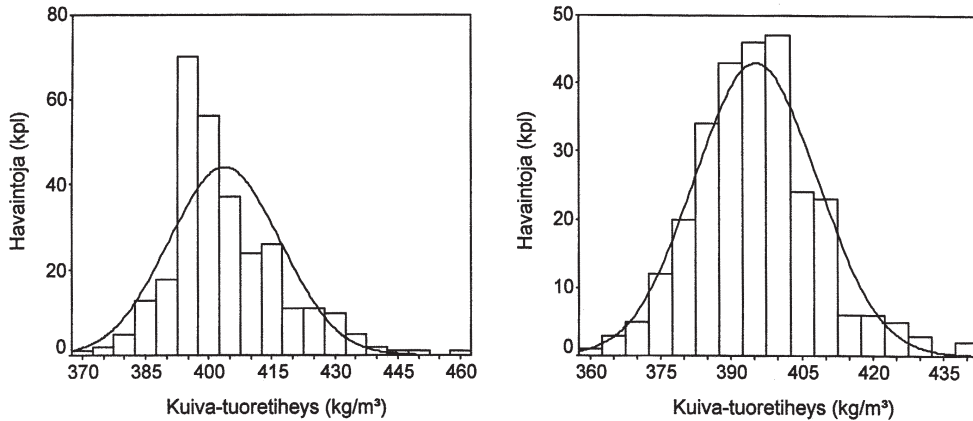
Haketoimittajista kerättiin seuraavat taustatiedot:

- Kuvaus toimittajan sahalaiteista ja hakkureista
- Palakokotavoite tai palakokojakauma
- Raakapuun varastointitapa
- Puunhankinta-alue
- Toimittajan käyttämä raakapuun määrä sahatavara-kuutiometriä kohti (käyttösuhde)
- Arvio hakkeen keskimääräisestä koostumuksesta (rungon ja tukin osa, tuotantoprosessin vaihe)

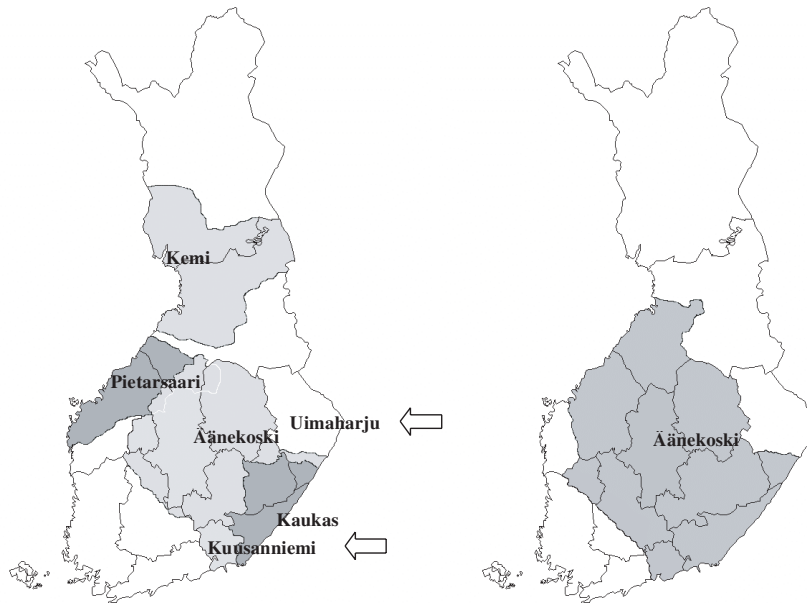
Hakenäytteet kerättiin satunnaisotoksella tehtäillä vastaanotetusta ostohakkeesta. Näytteet otettiin yleensä autohakekuormista. Kahdessa tapauksessa, joissa hakkeen toimittaja sijaitsi samalla tehdasalueella kuin hakkeen käyttäjä, hakenäytteet otettiin suoraan sahalla hakkeen seulonnan jälkeen. Aineistoa täydennettiin yhden sahan osalta junalla toimitetusta hakkeesta.

Haketoimittaja täytti kustakin hake-erästä erillisen hakekuormakortin, 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. Tehtaan puuvastaanotossa valittiin kuormat, joista näytteitä otettiin. Tutkimusta varten kustakin näytekouromasta otettiin noin 10 litran suuruinen näyte, joka koostui kuorman purkuvirrasta otetuista osanäytteistä. Lisäksi joka kymmenennestä näytekouromasta otettiin lisänäyte palakokojakauman ja kuoripitoisuuden mittausta varten, jolla varmistettiin aineiston edustavuus hakkeen laadun suhteen. Näytteet pakattiin kosteustiiviisti ja toimitettiin hakekuormakorttien kanssa hakeanalyysit suorittaneisiin laboratorioihin.

Mäntysahahakeaineistoa kerättiin seitsemältä tehtaalta yhteensä 19 toimittajan hakkeesta. Tutkimuksessa mukana olleiden mäntysahahakkeen toimittajien hankinta-alueet kattoivat suurimman osan maasta (kuva 1). Aineisto sisälsi lisäksi pienen määrän Venäjän tuontipuusta tehtyä haketta. Aineiston



Kuva 4. Kuusisahakkeen (vas.) ja kuusikuitupuuhakkeen aineistojen (oik.) jakaumat kuiva-tuoreiheyden mukaan.



Kuva 5. Koivukuitupuun (vas.) ja haapakuitupuun (oik.) hankinta-alueet tehtaittain.

jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan on esitetty kuvassa 3.

Kuusisahakeaineistoa kerättiin kuudelta tehtaalta yhteensä 16 toimittajan hakkeesta. Toimittajien hankinta-alueet kattoivat melko hyvin Oulun läänin eteläpuolisen osan maasta (kuva 2). Kuusen teollinen sahaus on sinänsä vähäistä Pohjois-Suomessa. Kuvasta 4 nähdään aineiston jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan.

2.1.2 Kuitupuuhakeaineisto

Kuitupuuhakkeesta kerättiin aineisto eri puolilla Suomea sijaitsevilta massa- ja paperitehtailta mänty-, kuusi- ja koivukuitupuusta sekä rajoitetussa määrin haapakuitupuusta. Tehtaat valittiin siten, että kuitupuun hankinta-alueet vastasivat mahdollisimman hyvin teollisuushaketutkimuksen hakkeen toimittajien hankinta-alueita. Kuitupuutavaramäärä hankinta-alueet tehtaittain on esitetty kuvissa 1, 2 ja 5.

Taulukko 3. Kuitupuuhakeaineiston lähteet alueittain, tehtaittain ja hakelajeittain.

Alue	Tehdas	Hakelaji
Pohjois-Suomi	Stora Enso, Kemijärvi Metsä-Botnia, Kemi UPM-Kymmene, Kajaani	Mänty, selluloosakuusi Koivu (kotimainen) Hiomokuusi
Länsi-Suomi	UPM-Kymmene, Pietarsaari Metsä-Botnia, Rauma	Normaalimänty, ensiharvennusmänty, selluloosakuusi, koivu (kotimainen) Mänty
Keski-Suomi	Metsä-Botnia, Äänekoski UPM-Kymmene, Kaipola UPM-Kymmene, Jämsänkoski	Mänty, koivu (kotimainen), haapa Hiomokuusi Hiomokuusi
Itä-Suomi	UPM-Kymmene, Kuusanniemi UPM-Kymmene, Kaukas Stora Enso, Kaukopää Stora Enso, Uimaharju Stora Enso, Anjalankoski	Mänty, koivu (tuonti) Normaalimänty, koivu (kotimainen) Ensiharvennusmänty, selluloosakuusi (tuonti) Normaalimänty, koivu (tuonti) Hiomokuusi

Tutkimuksen aineisto kerättiin kahdessa vaiheessa. Tammi–maaliskuussa 2000 kerättiin ns. talviaineisto talvella hakatusta puusta (rehevät kasvupaikat, huonosti kantavat maat, keskimääräistä vähemmän mänty- ja koivuharvennusleimikoita, keskimääräistä enemmän kuusiharvennusleimikoita). Syys–marraskuussa 2000 kerättiin ns. syksyaineisto kesällä ja alkusyksyllä hakatusta puusta (kantavat kangasmaat, keskimääräistä enemmän mänty- ja koivuharvennusleimikoita, ei juurikaan kuusiharvennusleimikoita). Molemmissa vaiheissa aineistoa kerättiin noin 20 hakenäytettä / tehdas / puutavaralaji. Eri tehtailta kerättiin eri puutavaralajien aineistoa taulukon 3 mukaisesti. Talvi- ja syksyaineiston yhteenlasketut näytemäärät puu- ja tavaralajeittain on esitetty taulukossa 4.

Hakenäytteet otettiin tehtaiden normaalista prosessista kuorinnan ja haketuksen jälkeen seulomat-
tomasta hakkeesta. Tällöin aineiston keruu ei vaatinut erityisjärjestelyjä, vaan näytteitä otettiin tasaisin väliajoin tavallisesti 1–2 viikon, joissakin tapauksissa myös lyhyemmän jakson aikana.

Mäntykuitupuuhakeaineistosta eroteltiin ensiharvennuskuitupuuhake ja myöhemmistä harvennuksista ja päätehakuista saatavasta kuitupuusta valmistettava normaalihake. Osalla tehtaista mäntykuitupuuhakenäytteet otettiin kuitupuutavaralajin mukaan lajittelemattomasta raaka-aineesta. Ensiharvennuskuitupuuhake on peräisin nuorten runkojen tyvi-

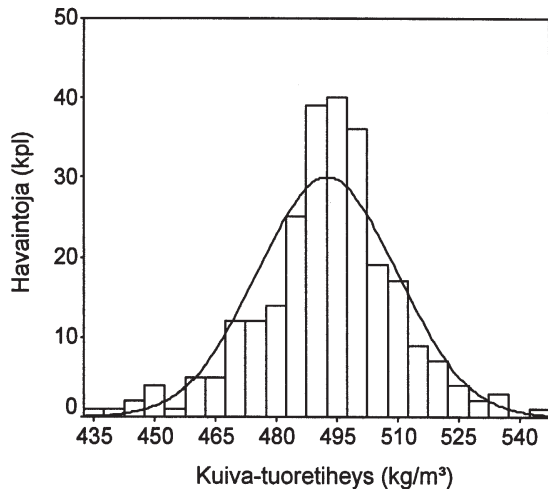
Taulukko 4. Kuitupuuhakeaineiston näytemäärät puu- ja tavaralajeittain.

Puulaji	Tavaralaji	Näytteet, kpl
Mänty	Mänty *)	148
	Normaalimänty	136
	Ensiharvennusmänty	89
	Mänty yhteensä	373
Kuusi	Hiomokuusi	164
	Selluloosakuusi	116
	Kuusi yhteensä	280
Koivu	Kotimaa	171
	Tuonti	88
	Koivu yhteensä	259
Haapa	Kotimaa	41
Yhteensä		953

*) Kuitupuutavaralajeja ei ole eritelty

ja välisosista. Kuituominaisuuksiltaan tämä raaka-aine poikkeaa normaalimäntykuitupuusta, joka on peräisin kaikista rungon osista ja myös päätehakuuikäisestä puustosta. Ensiharvennusmännyn kuituominaisuuksia selluloosan raaka-aineena pidetään varsin heikkoina, mutta tällekin kuituraaka-aineelle on olemassa hyvinsoveltuvat, tosin verraten kapea-alaiset käyttökohteensa (Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 12.10.2000).

Mäntykuitupuuhakeaineistoa kerättiin kahdeksalta tehtaalta pelkästään kotimaisesta puutavarasta. Kemijärven, Rauman, Äänekosken ja Kuusannie-



Kuva 6. Koivukuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan.

men aineistoissa puutavaraa ei eritelty kuitupuutavaralajin mukaan. Länsi-Suomessa Pietarsaaren aineisto jaoteltiin keskenään vertailtaviin ensiharvennus- ja normaalimäntyaineistoihin. Itä-Suomessa kerättiin vastaavat aineistot ensiharvennusmäntyhakkeesta Kaukopäässä ja normaalimäntyhakkeesta Kaukaalla ja Uimaharjussa. Tutkimusaineiston mäntykuitupuun toteutuneet hankinta-alueet on esitetty tehtaaitain kuvassa 1. Mäntykuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan on esitetty kuvassa 3.

Kuusikuitupuuhakeaineistoa kerättiin seitsemältä tehtaalta, Kajaanissa, Kaipolassa, Jämsänkoskella ja Anjalankoskella hiomokuitupuusta ja Pietarsaassa, Kaukopäässä ja Kemijärvellä selluloosakuitupuusta. Kaukopään aineisto oli kokonaisuudessaan tuontipuuta, Anjalankosken näytteet sisälsivät alle 10 % tuontipuuta. Tutkimusaineiston kuusikuitupuun toteutuneet hankinta-alueet on esitetty tehtaaitain kuvassa 2. Kuusikuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan nähdään kuvasta 4.

Kuusikuitupuuhakeaineisto jakautui selluloosa-tehtailta kerättyyn selluloosakuusiaineistoon ja paperitehtailta kerättyyn hiomokuusiaineistoon. Hiomokuitupuun tulee rungon puuaineeltaan terveistä ja elävistä osista, sen sijaan selluloosakuitupuun voi sisältää myös lahoja ja kuivia rungonosia. Hiomokuitupuun on oltava tehtaalla tuoreena, noin kahden viikon sisällä hakkuusta.

Koivukuitupuuhakeaineistoa kerättiin kuudelta tehtaalta. Kemissä, Pietarsaassa, Äänekoskella ja Kaukaalla näytteet otettiin kotimaisesta kuitupuusta, Uimaharjussa ja Kuusanniemellä tuontipuusta. Tutkimusaineiston koivukuitupuun toteutuneet hankinta-alueet on esitetty kuvassa 5. Koivukuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan on esitetty kuvassa 6.

Haapakuuitupuuhakeaineistoa kerättiin ainoastaan Äänekosken tehtaalla, yhteensä 41 näytettä. Hakenäytteet kerättiin sekä talvella että syksyllä noin yhden vuorokauden kestäneistä selluloosatehtaan haapa-ajoista. Kuvan 5 kartasta ilmenee haavan toteutuneet hankinta-alue.

Valtaosa kotimaisen puun hakenäytteistä otettiin autokuljetuksin tehtaalle toimitetusta kuitupuusta. Kemijärvellä puulajipuhtauteen pääsemiseksi kerättiin erilliset mänty- ja kuusikuitupuutarastot, jotka ajettiin yhtäjaksoisesti kuorinta- ja haketusprosessiin ja kaikki 20 näytettä / puutavaralaji otettiin näiden ajojen aikana. Uimaharjussa meneteltiin samoin normaalimännyn ja tuoreen tuontikoivun saamiseksi aineistoon. Myös Kuusanniemen ja Kaukaan aineistoja varten kerättiin erilliset kuitupuutarastot, jotka kuorittiin ja hakettiin useissa erissä autoalustaisilla laitteilla.

2.2 Kuiva-tuoreiheyden määrittäminen

Hakenäytteiden kuiva-tuoreiheydet analysoitiin SCAN-CM 43:95 -standardin (1995) mukaisella menetelmällä. Kuiva-tuoreiheydet määritettiin yhtiöiden omissa laboratorioissa, Lännen Laboratoriot Oy:n laboratorioissa ja joissakin tapauksissa näytteitä keränneen tehtaan laboratorioissa. Standardin mukainen tiheyden määrittäminen vaatii erikoisvälineistöä, joten useimmilla tehtailla ei ollut mahdollisuuksia tehdä analyysyjä omissa laboratorioissaan.

UPM-Kymmene Oyj:n Pulp Centerin (Pietarsaari) mittaustuloksia vertailtiin samoilla näytteillä Stora Enso Oyj:n Imatran tutkimuskeskuksen ja Lännen Laboratoriot Oy:n (Rauma) tuloksiin. Raumalla ja Pietarsaassa määritettyjen kuuden rinnakkaisnäytteen ero tiheyden itseisarvona oli 2,5 %. Imatran ja Pietarsaaren tulokset olivat lähellä toisiaan, keskimääräinen ero tiheyden itseisarvona oli neljällä rinnakkaisnäytteellä 0,6 %.

Laboratorioihin toimitetuista näytteistä otettiin 2–3 litran osanäytteet kuiva-tuoretiheyden määrittämistä varten. Tiheys määritettiin yhden mittauksen perusteella. Standardin mukainen analyysimenetelmä on seuraava:

- 1) Haketta liotetaan vedessä, jolloin puuaineen huokokset saadaan täytetyksi vedellä. Liotuksella voidaan välttää upotusmenetelmässä veden imeytymisestä aiheutuva mittausvirhe tuoretilavuuden määrittämisessä. Toisaalta voidaan varmistua siitä, että puun kosteus on puunsiyden kyllästymispisteen yläpuolella. Kosteuden kasvaessa puuaineen tilavuus ei enää kasva kosteusturpoaman vuoksi, kun puunsiyden kyllästymispiste on ylitetty.
- 2) Liotuksen jälkeen hakkeesta poistetaan tilavuuden mittausvirhettä aiheuttava pintavesi linkoamalla haketta sentrifugilla. Lingon ulkokehällä on saavutettava oikean suuruinen keskeisvoima pintaveden poistamiseksi siten, että vettä ei poistu puuaineen huokosista.
- 3) Hakkeen tilavuus mitataan Arkhimeden lakiin perustuvalla upotusmenetelmällä. Oleellista on saada poistettua ilmakuplat hakkeen seasta oikean tilavuuden mittaustuloksen saamiseksi.
- 4) Hake kuivataan kuivausuunissa lämpötilassa +105 °C noin yhden vuorokauden ajan, minkä jälkeen mitataan hakkeen kuivamassa. Kuivausajan on oltava riittävän pitkä, jotta kaikki vesi saadaan poistetuksi puusta.

Tuoretilavuuden, kuivamassan ja kuiva-tuoretiheyden lisäksi lähes kaikista näytteistä mitattiin ennen liotusta tuoremassat, jolloin voitiin laskea puuaineen kosteus ja kuiva-ainepitoisuus. Näin pystyttiin varmistumaan siitä, että näytteiden kosteus ei ollut laskenut puunsiyden kyllästymispisteen alapuolelle ennen kuiva-tuoretiheyden määrittystä.

2.3 Tulosten analysointi

Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheyksiä tarkasteltiin tehtaittain ja alueittain keskilukujen, keskihajontojen ja keskiarvon luottamusvälien sekä näistä tunnusluvuista laadittujen taulukoiden ja kuvaajien avulla. Tarkastelut tehtiin sekä erikseen teollisuus- ja kuitupuuhakkeelle että niiden välillä. Sahahakkeella vertailtiin myös normaali- ja pikku-

tukeista tehtyä haketta ja kuitupuuhakkeella männyn ensiharvennus- ja normaalikuitupuusta, kuusen hiomo- ja selluloosakuitupuusta ja koivun kotimaisesta ja venäläisestä kuitupuusta tehtyä haketta. Lisäksi tiheyksiä vertailtiin t-testin ja yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla.

Teollisuushakkeelle määritettiin suuraluekohtaiset keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet (kg/m^3), joista edelleen laskettiin mittauksen muuntokertoimet ($\text{m}^3/\text{kuiva-aine-tn}$). Kuitupuuhakkeelle määritettiin vastaavat suuraluekohtaiset kuiva-tuoretiheydet ja laskettiin mittauksen muuntokertoimet.

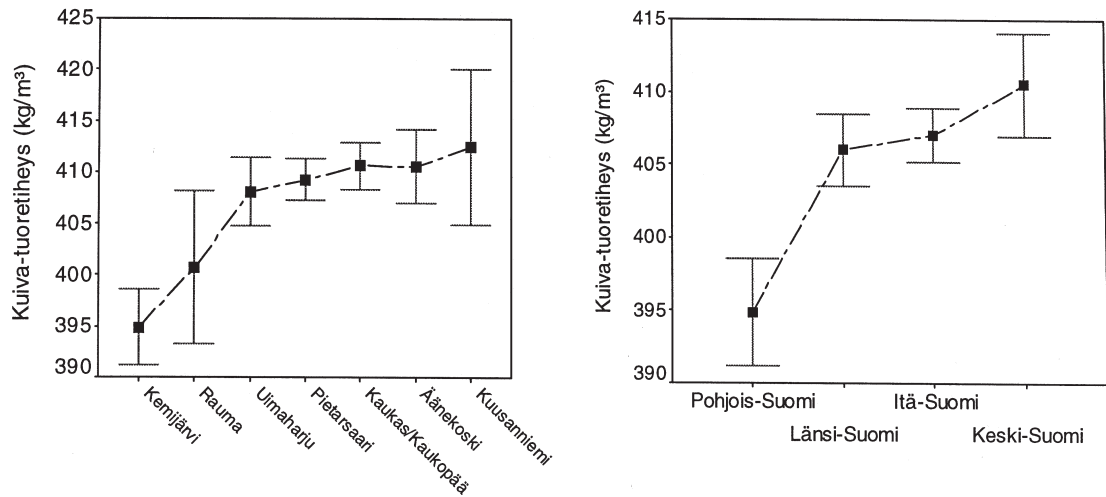
3 Tulokset

3.1 Mänty

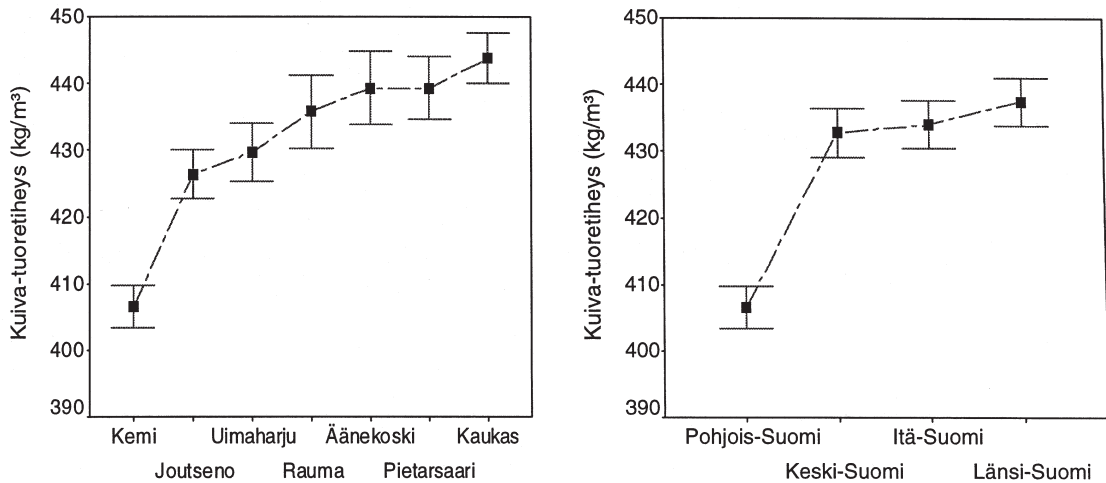
Mäntykuitupuuhakkeen keskimääräiset tehdaskohtaiset kuiva-tuoretiheydet nähdään kuvasta 7. Vertailtavuuden vuoksi Pietarsaaren hakkeen tiheyskeskiarvo laskettiin käyttämällä mäntykuitupuun käyttö-osuuksien mukaisesti ensiharvennusmännylle painokerrointa 0,2 ja normaalimännylle kerrointa 0,8. Kaukopään ja Kaukaan aineistot yhdistettiin painottaen vastaavasti ensiharvennusmäntyä kertoimella 0,1 ja normaalimäntyä kertoimella 0,9. Kemijärven mäntykuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli alhaisin, Kuusanniemen aineiston tiheyskeskiarvo oli vastaavasti korkein. Yksittäisiä merkitseviä eroja havaittiin myös eräiden muiden tehtaiden välillä. Kemijärven aineiston tiheys poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikista muista tehtaista Raumaa lukuun ottamatta ($df = 7$, $F = 9,0$, $p < 0,001$).

Mäntysahahakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiarvot tehtaittain nähdään kuvasta 8. Vertailtaessa tehtaiden välisiä tiheyksiä on otettava huomioon hakkeen alkuperä (kuva 1). Kemiin toimitetun hakkeen alhainen tiheys poikkesi selvästi kaikkien muiden tehtaiden hakkeesta; ero oli tilastollisesti merkitsevä ($df = 6$, $F = 30,0$, $p < 0,001$).

Mäntykuitupuuhakkeen alueittaisessa vertailussa (kuva 7) Rauman ja Pietarsaaren tiheyshavainnot yhdistettiin Länsi-Suomen aineistoksi ja Uimaharjun, Kaukaan ja Kaukopään havainnot Itä-Suomen aineistoksi. Keski-Suomen aineisto koostuu Äänekosken näytteistä ja Pohjois-Suomen aineisto Kemi-



Kuva 7. Mäntykuitupuuhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit tehtaittain (vas.) ja alueittain (oik.). Pietarsaaren keskiarvo on laskettu painottaen ensiharvennumännyn ja normaalimännyn käyttösuuksilla 20 % ja 80 %. Kaukopään ja Kaukaan yhdistetty keskiarvo on laskettu painotuksilla 10 % ensiharvennumäntyä (Kaukopään aineisto) ja 90 % normaalimäntyä (Kaukaan aineisto).



Kuva 8. Mäntysahahakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja 95 %:n luottamusvälit tehtaittain (vas.) ja alueittain (oik.).

järven näytteistä. Pohjois-Suomen keskimääräinen tiheys oli alhaisin ja Keski-Suomen tiheys korkein; ero oli noin 16 kg/m^3 . Varianssianalyysillä aineistoa testattaessa Pohjois-Suomen tiheys poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikista muista alueista ($df = 3$, $F = 12,2$, $p < 0,001$); sen sijaan Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ($df = 2$, $F = 2,0$, $p = 0,143$).

Mäntysahahakkeen alueittaisessa vertailussa (kuva 8) Rauman ja Pietarsaaren aineistot yhdistettiin Länsi-Suomen aineistoksi ja Äänekosken ja Joutsenon aineistot Keski-Suomen aineistoksi. Itä-Suomen aineisto koostui Uimaharjun ja Kaukaan näytteistä ja Pohjois-Suomen aineisto Kemin näytteistä. Pohjois-Suomen hakkeen kuiva-tuoretiheys oli selvästi muuta maata alhaisempi ($df = 3$, $F = 47,8$,

$p < 0,001$), mutta Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen hakkeiden välillä ei ollut eroja ($df = 2$, $F = 1,7$, $p = 0,176$).

Tulosten perusteella suositeltiin mäntysahahakkeelle käytettäväksi eritasoisia kuiva-tuoretiheyksiä Etelä- ja Pohjois-Suomeen. Mäntykuitupuuhakkeen tiheydet laskettiin vastaaville alueille. Alueittainen vertailu hakelajien välillä on esitetty taulukossa 5. Etelä-Suomessa sahaake oli keskimäärin 26 kg/m^3 kuitupuuhaketta tiheämpää, Pohjois-Suomessa ero oli 12 kg/m^3 ; erot olivat molemmissa tapauksissa tilastollisesti merkitseviä (Etelä-Suomi: $df = 552$, $t = 22,0$, $p < 0,001$; Pohjois-Suomi: $df = 86$, $t = 4,8$, $p < 0,001$). Kuitupuuhakkeella tiheysero Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä oli huomattavasti pienempi kuin sahaakkeella, keskimäärin vain 14 kg/m^3 , mutta ero oli silti tilastollisesti merkitsevä ($df = 371$, $t = 5,7$, $p < 0,001$).

Normaalimäntyhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat ensiharvennummäntyhakkeen tiheyksiä suuremmat sekä Länsi- että Itä-Suomessa (taulukko 6). Länsi-Suomessa keskimääräinen ero oli 4 kg/m^3 ja Itä-Suomessa 9 kg/m^3 ; erot olivat myös tilastollisesti merkitseviä (Länsi-Suomi: $df = 95$, $t = 2,8$, $p = 0,005$; Itä-Suomi: $df = 86$, $t = 4,4$, $p < 0,001$). Länsi-Suomen ensiharvennummäntyaineisto oli muusta aineistosta poiketen kokonaisuudessaan syksyleimikoiden puuta (kantavan maan leimikoita, karuhkoja kasvupaikkoja), mikä selittää osak-

si pienemmän eron normaalimäntyaineistoon nähden kuin Itä-Suomessa (sekä kantavan että pehmeän maan leimikoita, karuja ja viljavia kasvupaikkoja).

Vertailtaessa mäntykuitupuuhakkeen talvi- ja syksyaineistoja tehtaittain ei yhdensuuntaista tiheyseroa ilmennyt. Mäntyaineistoa keränneistä tehtaista puolella keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli alempi talviaineistossa ja toisella puolella syksyaineistossa. Myöskään alueittaisessa vertailussa talvi- ja syksyaineistojen tiheyserot eivät olleet samansuuntaisia. Kaikilla Itä-Suomen tehtailla (Uimaharju, Kaukas, Kaukopää) keskimääräinen tiheys oli korkeampi syksyaineistossa kuin talviaineistossa, Länsi-Suomen tehtailla (Rauma, Pietarsaari) ero oli päinvastainen. Länsi-Suomea lukuun ottamatta tiheyserot vuodenaikojen välillä olivat melko vähäisiä. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä Länsi-Suomen ($df = 136$, $t = 7,3$, $p < 0,001$) ohella Itä-Suomessa ($df = 126$, $t = 2,4$, $p = 0,017$) ja koko mäntykuitupuuhakeaineistossa ($df = 371$, $t = 3,1$, $p = 0,002$).

Kaukaan, Kuusanniemen ja Pietarsaaren näytteenottomenetelmät mahdollistivat tiheysnäytteiden alkuperinä olleiden kuitupuuerien keskusläpimitan selvittämisen. Kuvassa 9 on esitetty mäntykuitupuuhakenäytteiden tiheyden riippuvuus näytteen alkuperänä olleen kuorman tai nipun puutavarapölkkyjen keskeltä määritetystä läpimitaluokasta. Kuiva-tuoretiheys kasvoi trendinomaisesti läpimitan kasvaessa, regressiomallin mukaan yhden senttimet-

Taulukko 5. Mäntysahahakkeen ja -kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m^3 . Etelä-Suomen kuitupuuhakkeella painotettu keskiarvo ensiharvennus- ja normaalimäntyhakkeen arvioitujen käyttömäärien mukaisesti.

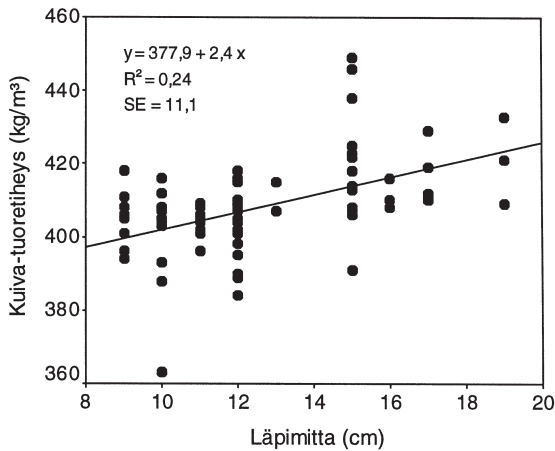
Alue	Sahaake			Kuitupuuhake		
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	N	Keskiarvo	Keskihajonta
Etelä-Suomi	221	435	16,1	333	409	15,7
Pohjois-Suomi	48	407	11,1	40	395	11,6
Koko aineisto	269	430	18,9	373	406	13,8

Taulukko 6. Ensiharvennus- ja normaalimäntyhakkeen kuiva-tuoretiheys Länsi- ja Itä-Suomessa, kg/m^3 .

Alue	Ensiharvennummäntyhake			Normaalimäntyhake		
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	N	Keskiarvo	Keskihajonta
Länsi-Suomi (Pietarsaari)	41	406	4,5	56	410	9,8
Itä-Suomi (Kaukopää, Kaukas)	48	402	7,5	40	411	11,7
Koko aineisto	89	404	6,4	96	411	10,6

rin lisäys läpimitassa aiheutti kuiva-tuoretiheydessä kasvua $2,4 \text{ kg/m}^3$. Tosin mallin selitysaste ei ollut korkea.

Tapauskohtaisena esimerkkinä vertailtiin kahden Satakunnassa sijaitsevan vain männyn latva- tai tyvitukkeja käyttäneiden sahojen hakkeen tiheyksiä. Sahat sijaitsivat lähellä toisiaan ja niiden hankintaluokat menivät pääosin päällekkäin. Tässä tiheyksi- en vertailussa tulivat esille tukin sijainnin (tyvi / latva) sekä osin tukin järeyden vaikutukset. Tyvitukeis-



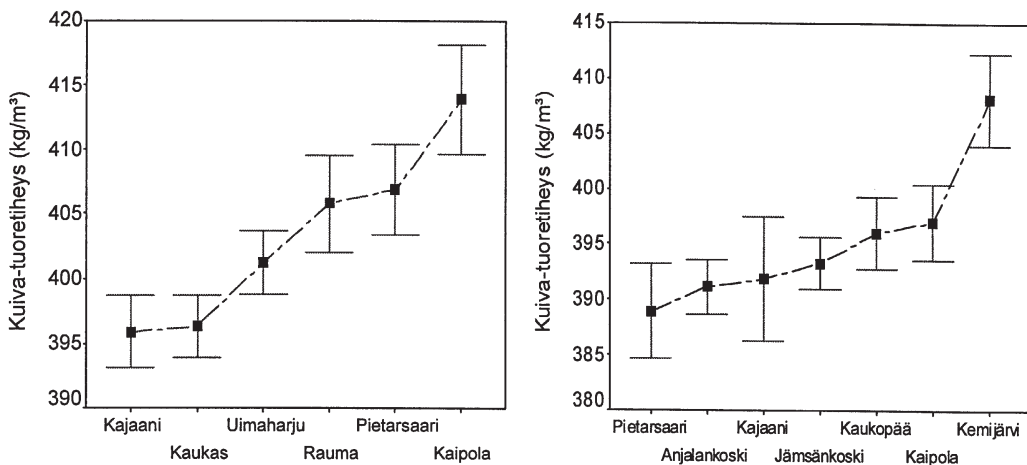
Kuva 9. Näytteen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus kuorman tai nipun puutavaran arvioidusta keskusläpimitaluokasta mäntykuitupuuhakkeella.

ta tehdyn hakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 452 kg/m^3 , latvatukeista tehdyn hakkeen kuiva-tuoretiheys oli 422 kg/m^3 . Ero oli tilastollisesti merkitsevä, vaikka havaintojen lukumäärä oli pieni ($df = 16$, $t = 3,4$, $p = 0,003$).

Vastaava vertailu voitiin tehdä Keski-Pohjanmaalla sijaitsevien männyn normaalitukkeja sahanneen sahan ja pikkutukkeja vastaavaa raaka-ainetta käyttäneen parrunveistämön hakkeen tiheydestä. Normaalitytteenä tehdyn hakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 439 kg/m^3 , kun vastaava arvo parrunveistohakkeella oli 433 kg/m^3 ; ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($df = 63$, $t = 1,4$, $p = 0,179$).

3.2 Kuusi

Kuusikuitupuuhakkeen keskimääräiset tehdaskohdittaiset kuiva-tuoretiheydet nähdään kuvasta 10. Tiheys oli Kemijärvellä korkeampi kuin muilla tehtailta ($df = 6$, $F = 11,9$, $p < 0,001$), joiden keskimääräiset tiheydet olivat vastaavasti samalla tasolla. Alueittaisessa tarkastelussa (taulukko 7) Kemijärven aineisto edusti Pohjois-Suomea, kaikkien muiden tehtaiden tiheyshavainnot Kaukopään tuontipuuaineistoa lukuun ottamatta yhdistettiin Etelä-Suomen aineistoksi, ml. Kajaanin aineisto. Pohjois-Suomessa kuusikuitupuuhakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 15 kg/m^3 korkeampi kuin Etelä-Suomessa; ero



Kuva 10. Kuusisahakkeen (vas.) ja kuusikuitupuuhakkeen (oik.) keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit tehtaittain.

Taulukko 7. Kuusisahahakkeen ja -kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m³.

Alue	Sahahake			Kuitupuuhake		
	N	Keskiarvo	Keskiahajonta	N	Keskiarvo	Keskiahajonta
Etelä-Suomi	294	404	13,3	201	393	11,9
Pohjois-Suomi	...	...	...	41	408	13,2
Koko aineisto	294	404	13,3	242	395	13,4

oli tilastollisesti merkitsevä ($df = 137$, $t = 6,4$, $p < 0,001$).

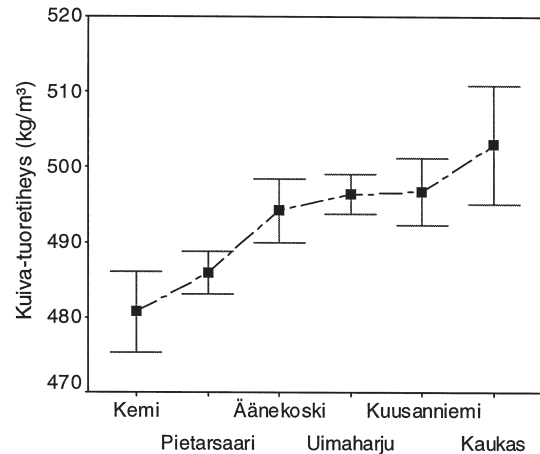
Kuusisahahakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiarvot tehtaaittain nähdään kuvasta 10. Tiheyserot tehtaiden välillä olivat verraten pieniä. Tiheyden alueellista vertailua varten maan eteläosa jaettiin kolmeen vyöhykkeeseen hankinta-alueiden perusteella. Savo-Pohjois-Karjalan hakkeella kuiva-tuoretiheys oli 398 kg/m³ ja Keski-Pohjanmaan hakkeella 407 kg/m³; ero oli tilastollisesti merkitsevä ($df = 187$, $t = 5,3$, $p < 0,001$). Keski-Pohjanmaan (407 kg/m³) ja Lounais-Suomen (410 kg/m³) hakkeiden tiheyksien ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($df = 153$, $t = 1,0$, $p = 0,299$).

Teollisuushaketutkimuksessa kuusisahakkeelle suositeltiin käytettäväksi samaa kuiva-tuoretiheyttä koko Etelä-Suomeen (404 kg/m³). Sahahake oli Etelä-Suomessa noin 11 kg/m³ kuitupuuhaketta tiheämpää (taulukko 7); ero oli myös tilastollisesti merkitsevä ($df = 410$, $t = 7,6$, $p < 0,001$).

Eteläsuomalaisen kuusikuitupuuhakkeen keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla talvi- ja syksyaineistossa. Pohjois-Suomessa talviaineiston keskimääräinen tiheys oli 6 kg/m³ syksyaineistoa korkeampi, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($df = 39$, $t = 1,3$, $p = 0,200$).

Hiomo- ja selluloosakuusikuitupuuhakkeen tiheyksiä vertailtaessa aineistosta poistettiin Kemijärven havainnot niiden suuren maantieteellisen poikkeavuuden vuoksi. Sekä hiomo- että selluloosakuitupuuhakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 393 kg/m³.

Tapauskohtaisena esimerkkinä vertailtiin Savosa sijaitsevien sahojen hakkeita, joista toinen sahasi normaalitukkeja ja toinen pikkutukkeja. Vastoin hypoteesia pikkutukkihakkeen tiheys (410 kg/m³) oli korkeampi kuin normaalitukkihakkeen tiheys (391 kg/m³); ero oli myös tilastollisesti merkitsevä ($df = 49$, $t = 4,2$, $p < 0,001$). Vastaava vertailu tehtiin Keski-Pohjanmaalla sijaitsevan normaalitukkeja sa-



Kuva 11. Koivukuitupuuhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit tehtaaittain.

hanneen sahan ja pikkutukkeja vastaavaa raaka-ainetta käyttäneen parrunveistämön välillä. Tässäkin parrunveistohakkeen tiheys (409 kg/m³) oli hieman korkeampi kuin normaalitukkihakkeen tiheys (407 kg/m³), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($df = 55$, $t = 0,5$, $p = 0,601$).

3.3 Koivu

Koivukuitupuuhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet tehtaaittain on esitetty kuvassa 11. Kemin koivukuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli alhaisin ja poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikkien muiden tehtaiden hakkeesta, Pietarsaarta lukuun ottamatta ($df = 5$, $F = 11,3$, $p < 0,001$). Kaukaan tiheystaso oli korkein ja poikkesi tilastollisesti merkitsevästi sekä Pietarsaaren ($df = 87$, $t = 4,4$, $p < 0,001$) että Kemin ($df = 80$, $t = 4,7$, $p < 0,001$) tiheyksistä, joissa hake oli käytännössä kokonaan rauduskoivua luontaisesti kevyempää hieskoivua. Äänekosken ai-

Taulukko 8. Koivuvanerihakkeen ja -kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys alueittain, kg/m³.

Alue	Vanerihake			Kuitupuuhake		
	N	Keskiarvo	Keskihajonta	N	Keskiarvo	Keskihajonta
Etelä-Suomi	41	496	20,6	129	494	18,2
Pohjois-Suomi	...	...	...	42	481	17,5
Tuontipuusta	...	...	...	88	497	12,7
Koko aineisto	41	496	20,6	259	493	17,2

neiston sekä tuontipuusta koostuvien Uimaharjun ja Kuusanniemen aineistojen tiheydet olivat lähellä toisiaan. Kemin ja Pietarsaaren koivua voi ainakin tässä aineistossa kutsua yhdessä ”Pohjanmaan koivuksi”.

Koivuvanerihakkeesta kerättiin suppea aineisto kahdelta tehtaalta. Kaukaalla näytteet otettiin oman vaneritehtaan hakkeesta ja Pietarsaareissa länsisuomalaisen vaneritehtaan hakkeesta. Kaukaalla koivuhakkeen keskimääräinen tiheys oli 506 kg/m³, kun se Pietarsaareissa oli selvästi alhaisempi, 483 kg/m³; ero oli tilastollisesti merkitsevä (df = 39, t = 4,3, p < 0,001). Länsisuomalaisella vaneritehtaalla pääosa käytettävästä raaka-aineesta hankitaan noin 50 kilometrin säteeltä tehtaasta, mutta hankinta-alue ulottuu aina rannikolle saakka ja 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; valtaosa tehtaan koivutukista lienee rauduskoivua. Venäjältä toimitetun puun järeys ei poikkea tehtaalta saatujen tietojen mukaan Suomesta hankitusta puusta.

Taulukossa 8 Pietarsaaren, Äänekosken ja Kaukaan aineistot muodostavat Etelä-Suomen koivukuitupuuhakkeen ja Kemin aineisto Pohjois-Suomen koivukuitupuuhakkeen aineiston. Vanerihakkeen ja eteläsuomalaisen koivukuitupuuhakkeen keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla, 496 ja 494 kg/m³ (df = 168, t = 0,6, p = 0,570). Pohjois-Suomessa koivukuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli 13 kg/m³ Etelä-Suomea alhaisempi; ero oli myös tilastollisesti merkitsevä (df = 169, t = 4,1, p < 0,001). Uimaharjuun ja Kuusanniemeen toimitetusta tuontipuusta ja eteläsuomalaisesta kuitupuusta tehdyn hakkeen tiheydet olivat samalla tasolla (df = 215, t = 1,2, p = 0,216).

Koivukuitupuuhakkeen talvi- ja syksyaineisto-

jen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat samaa suuruusluokkaa alueittaisessa vertailussa. Pohjois-Suomessa ero oli suurin; täällä syksyaineiston keskimääräinen tiheys oli 8 kg/m³ talviaineistoa korkeampi, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (df = 40, t = 1,4, p = 0,179).

3.4 Haapa

Haapakuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheyden keskiarvo oli 388 kg/m³, mediaani 386 kg/m³ ja keskihajonta 12,8 kg/m³; pienin havainto oli 361 ja suurin 410 kg/m³. Haapahakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli talviaineistossa 382 kg/m³ ja syksyaineistossa 394 kg/m³. Eri vuodenaikojen aineistojen keskihajonnat poikkesivat selvästi toisistaan; talviaineistossa se oli 3,6 kg/m³ ja syksyaineistossa oli 15,7 kg/m³. Syy tähän ei selvinnyt tutkimuksessa.

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

4.1 Mittausten tarkkuus, tulosten luotettavuus ja yleistettävyys

Maantieteellisesti kattavimmat aineistot sekä kuitupuusta että teollisuushakkeesta kerättiin männylle: Pohjois-Suomesta saatiin omat aineistonsa ja Etelä-Suomessa hankinta-alueiden maantieteellinen peittävyys oli hyvä. Lisäksi mäntykuitupuusta saatiin aineistot erikseen normaali- ja ensiharvennuskuitupuuhakkeesta Länsi- ja Itä-Suomesta. Kuusisahaakkeen hankinta-alueet peittivät vain eteläisen Suomen, sen sijaan kuusikuitupuusta saatiin aineisto myös Pohjois-Suomesta. Pohjoissuomalaisen kuusen sahaus on verraten vähäistä ja täten kaupallisen

sahahakkeen määrä myös vähäinen. Koivukuitupuuhakkeesta saatiin kohtalaisen laaja aineisto mukaan lukien tuontipuu, sen sijaan koivuvanerihaakeaineisto oli määrällisesti suppea ja tulokset näiltä osin vain suuntaa antavia.

Teollisuushakeaineiston näytteet otettiin hakkeen vastaanottavalla tehtaalla hakekuormien purkuvirrasta. Hakekuormat valittiin tehtaiden puuvastaanotoissa laadituilla, toimittajakohtaisilla otantamenetelmillä. Näytteiden otossa noudatettiin menetelmiä, joita käytetään normaalisti hakeanalyysinäytteitä kerätessä. Kuitupuuhakeaineiston näytteet otettiin hakevirrasta välittömästi tehdashakkurin jälkeen systemaattisesti tietyin aikavälein. Molemmissa aineistoissa aineiston keruu-aika yksittäisillä tehtailla jäi varsin lyhyeksi. Teollisessa mittakaavassa käsiteltävät puumäärät ovat niin suuria, että kohtalaisen lyhyelläkin aikavälillä toteutetussa otannassa raaka-aineiden hankinta-alueet tulevat hyvin edustetuiksi. Toisaalta aineistojen maantieteellinen kattavuus oli osin näennäistä, sillä näytemäärät edustivat suuria hankinta-alueita.

Kuitupuuhakkeella päästiin kaikilla puulajeilla huomattavasti pienemmällä näytemäärällä samoihin keskiarvon tarkkuuksiin kuin saha- ja vanerihakkeella. Käytännön tehdaskokemuksissa kuten myös aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että kuitupuusta tehdyllä hakkeella on suurempi tiheyden hajonta kuin teollisuushakkeella (Kukkonen, Niiranen ja Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 4.1.2000). Kuitupuuhaketta koskeneet tiedot on tällöin saatu leimikoiden ja pystypuiden kiekkonäytemittauksin mutta teollisuushaketta koskeneet tiedot hakeanalyysin. Selitys tämän tutkimuksen tulokseen voi olla tiheysvaihtelun tasaantuminen suurista puumääristä tehdystä hakkeesta otettuja näytteitä tarkasteltaessa.

Tämä tutkimus oli laajuusluokassaan ensimmäinen pohjoismaissa, jossa hakkeen kuiva-tuoretiheydet määritettiin hakenäytteistä SCAN-CM 43:95-standardin mukaisesti. Toistetuissa kuiva-tuoretiheyden määrittämissä tulosten välinen ero on tällä menetelmällä ollut tavallisesti korkeintaan 3 kg/m^3 (Öhman, henkilökohtainen tiedonanto 21.6.1999). Kuiva-tuoretiheyden määrittämiseen hakenäytteistä käytettävät laitteet on kalibroitu vastaamaan kiekkonäyteanalyysiä, joten tulokset ovat tässäkin suhteessa kiekkonäytteistä tehtyihin analyysiin nähden

vertailukelpoisia. Tässä tutkimuksessa selvitettiin suuraluekohtaisia tiheyslukuja. Näin ollen hakenäytteistä tehtyä kuiva-tuoretiheyden määrittystä voidaan pitää perusteltuna. Jokainen yksittäinen hakenäyte sisälsi puuainetta useista eri pölkkyistä ja rungoista, mahdollisesti jopa eri leimikoista, mikä pienensi tiheyshavaintojen vaihteluväliä ja täten myös keskiarvojen keskivirheitä.

Pääosa laboratoriotöistä keskitettiin kolmeen laboratorioon. Koska analyysissä saattaa syntyä erilaisten välineiden ja eri mittajien aiheuttamaa eroa laboratorioiden välille, töiden keskittäminen paransi tulosten vertailtavuutta. Laboratorioiden analysoimien rinnakkaisnäytteiden vertailutulokset olivat lähellä toisiaan, kun otetaan huomioon se näkökohta, että rinnakkaisnäytteet eivät ole täsmälleen samanlaisia tiheyden suhteen. Rinnakkaisnäytteitä oli kuitenkin vähän varmojen johtopäätösten tekemiseksi analyysimenetelmän tarkkuudesta ja mahdollisista eroista laboratorioiden välillä.

Männyllä alhaisin keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli oletusten mukaisesti sekä kuitupuu- että sahadakkeella Pohjois-Suomessa. Kuitupuuhakkeella ero Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä oli selvästi pienempi kuin sahadakkeella. Mäntykuitupuuhakkeen tiheys oli kautta linjan sahadaketta alhaisempi. Ensiharvennumännillä kuiva-tuoretiheys oli alhaisempi kuin normaalimännillä, mutta ero oli kuitenkin pieni verrattuna pystypuiden systemaattisista kiekkonäytemittauksista saatuihin tuloksiin. Tämä saattaa johtua yhtäältä nykyisillä korjuumenetelmillä verraten myöhään tehtävistä ensiharvennuksista, toisaalta ajourapuiden mukaantulosta kuitupuukertymään alaharvennettavien puiden lisäksi, jolloin ensiharvennusleimikoista todellisuudessa tehtaalle tuleva puu on järeämpää kuin mitä voidaan päätellä ensiharvennusmetsiköiden puuston keskimääräisistä ominaisuuksista. Hakkilan (2000) tutkimuksissa tämä järeysero oli noin 2 cm. Tiheyden keskihajonnat olivat ensiharvennumäntyaineistossa pienempiä kuin normaalimäntyaineistossa, mikä tuki sitä oletusta, että ensiharvennumänty on tiheyden suhteen normaalimäntyä tasalaatuisempaa. Tämä johtuu ensiharvennuskuitupuun alkuperästä ainoastaan rungon tyvi- ja välisosista ja verraten nuorista ja tasikäisistä puista, kun taas normaali lajittelematon kuitupuu sisältää puutavaraa kaikista rungonosista ja hyvin eri-ikäisistä puista.

Kuusella sahadakeaineiston kuiva-tuoretiheyden hajonnat ja vaihteluvälit olivat selvästi mäntyä pienempiä. Tämä normaaliksi katsottava tulos johtui mitä ilmeisemmin kuusen mäntyyn verrattuna pienistä tiheyseroista ydin- ja pintapuun sekä tyvi- ja latvapuun välillä (Hakkila 2000). Sekä kuusisahakkeella että -kuitupuuhakkeella keskimääräisten kuiva-tuoretiheyksien erot Etelä-Suomen sisällä olivat varsin pieniä. Kuusikuitupuuhakkeella tiheys oli Pohjois-Suomessa Etelä-Suomea korkeampi. Eteläsuomalaisen hiomo- ja selluloosakuitupuun keskimääräisten tiheyksien välillä ei ollut eroa, vaikka hiomokuusi tulee rungon kaikista terveistä osista ja selluloosakuusi sisältää lähinnä lahoja rungonosia etupäässä tyviosista ja pieneltä osin pystykuivaa puuta. Sahakkeella keskimääräinen tiheys oli kuusella männyn tavoin korkeampi kuin kuitupuuhakkeella.

Koivukuitupuunaineistossa pystyttiin selvästi erotamaan toisistaan kotimainen puu ja tuontipuun ja lisäksi selvittämään kohtuullisella tasolla myös tuontipuun alkuperä. Koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys oli Pohjois-Suomessa alhaisempi kuin Etelä-Suomessa. Sen sijaan eteläsuomalaisen koivukuitupuun ja tuontipuun hakkeen välillä ei ollut eroa tiheydessä. Eroa ei havaittu myöskään verrattaessa tämän tutkimuksen kuitupuunaineistoa koivuvaneri-hakeaineistoon. Tosin vanerihakeaineisto oli pieni ja sitä voidaan pitää lähinnä suuntaa antavana Itä- ja Länsi-Suomen tasoerojen suhteen. Tuloksiin vaikuttivat erityisesti hies- ja rauduskoivun toisistaan poikkeavat määräsuhteet eri tehtailla: Pohjois- ja Länsi-Suomessa lähes pelkästään hieskoivua, Itä-Suomessa sekä raudus- että hieskoivua.

Kuitupuun talvi- ja syksyaineistojen välillä ei millään puulajilla ilmennyt eroa tiheystasossa. Männylä ero oli tilastollisesti merkitsevä verrattaessa talvi- ja syksyaineistoja kokonaisuudessaan toisiinsa, mutta ero oli kuitenkin hyvin vähäinen ja toisaalta tehtaittaisessa ja alueittaisessa vertailussa aineistojen väliset tiheyserot olivat erisuuntaisia. Kuusella ja koivulla talvi- ja syksyaineistot olivat hyvin samankaltaisia. Käytettävissä olevien aineistojen perusteella voidaan siis päätellä, että teollisessa mittakaavassa käytetyn raaka-aineen tiheydessä ei ole eroa korjuuajankohdan suhteen. On kuitenkin huomattava poikkeukselliset korjuulosuhteet talvella 2000, jolloin ilmeisen suuri osa huonosti kantavien maiden

ns. talvileimikoista jäi hakkaamatta ja aineisto todennäköisesti vastasi tavallista enemmän tyyppisiä kesäkorjuuleimikoita.

4.2 Vertailu aiempiin tutkimuksiin

Sahakkeen kuiva-tuoretiheydestä on olemassa muutamia aikaisempia selvityksiä. Nämä perustuvat lähinnä leimikoiden ja pystypuiden kiekkonäyttemittauksiin lukuun ottamatta yhtä uutta tutkimusta tehtaalle toimitetun kuitupuun tiheydestä, joka sekin tehtiin kiekkonäytteistä.

Hakkilan (1966) mukaan mäntysahakkeen kuiva-tuoretiheys oli mäntytukkien pintapuun arvojen perusteella laskettuna Etelä-Suomessa 441 kg/m^3 . Uusvaaran (1969) mukaan eteläsuomalaisen mäntysahakkeen kuiva-tuoretiheys oli 428 kg/m^3 . Arvot ovat suhteellisen lähellä tässä tutkimuksessa saatuja mäntysahakkeen keskimääräisiä kuiva-tuoretiheyksiä. Uusvaaran (1972) tutkimus mänty- ja kuusisahakkeesta toteutettiin samansuuntaisesti tämän selvityksen kanssa, joskin eroja oli hakkeen analyysimenetelmissä, mm. hakkeen liotusajassa. Kyseisessä tutkimuksessa mäntysahakkeen keskimääräiseksi kuiva-tuoretiheydeksi saatiin $404,5 \text{ kg/m}^3$ aineistossa, joka oli kerätty selluloosatehtailta Savonlinna–Vaasa-linjan pohjoispuolelta. Nyt lasketut mäntysahakkeen tiheysarvot olivat selvästi tuossa tutkimuksessa saatuja korkeampia.

Hakkila (1966) laski kuusisahakkeen kuiva-tuoretiheydeksi kuusitukkien pintapuun arvojen perusteella Etelä-Suomessa 379 kg/m^3 . Uusvaara (1969) määrittä kuusisahakkeen kuiva-tuoretiheydeksi Etelä-Suomessa 393 kg/m^3 ja Uusvaara (1972) Savonlinna–Vaasa-linjan pohjoispuolella $377,5 \text{ kg/m}^3$. Tyrväinen (1995) määrittä kuusisahakkeen tiheydeksi Keski-Savossa 383 kg/m^3 . Tämän tutkimuksen tiheysarvot olivat mainittuihin tuloksiin verrattuna selvästi korkeampia.

Hakkilan (1966) mäntyä ja kuusta koskevat tulokset ovat teoreettisia analyysejä kiekkonäytteistä, eivätkä ne näin ollen suoraan vastaa hakeraaka-aineen tosiasiallista koostumusta, mm. taseuspätkähake puuttuu tästä. Myös Hakkilan myöhemmät tutkimukset, joihin viitataan jäljempänä on tehty kiekkonäytteiden perusteella.

Uusvaara (1971) määrittä neljältä eteläsuomalai-

selta vaneritehtaalta kerätystä aineistosta koivu- vanerihakkeen keskimääräiseksi kuiva-tuoretiheydeksi 494 kg/m^3 . Uusvaaran (1972) tutkimuksessa koivu- vanerihakkeen tiheydeksi saatiin 506 kg/m^3 . Ensimmäisen tutkimuksen tulos on lähellä tässä tutkimuksessa saatuja arvoja.

Hakkilan (1968) mukaan mäntykuitupuun keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat etelästä pohjoiseen eri leveysasteilla seuraavat: 60.00–62.00 398 kg/m^3 , 62.01–64.00 401 kg/m^3 , 64.01–66.00 407 kg/m^3 ja leveysasteen 66.00 pohjoispuolella 379 kg/m^3 . Tiheyden alueittainen vaihtelu oli tässä tutkimuksessa hyvin samanlaista. Hakkilan (1966) mukaan eteläsuomalaisten mäntykuitupuurunkojen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 417 kg/m^3 ja järeiden mäntyjen latvakuitupuun tiheys 386 kg/m^3 . Tässä tutkimuksessa keskimääräinen tiheys oli näiden keskiarvojen välillä. Hakkila ym. (1995) määrittivät eteläsuomalaisen ensiharvennuskannan keskimääräiseksi kuiva-tuoretiheydeksi 395 kg/m^3 . Hakkilan (2000) uuden tutkimuksen mukaan tehtaalle toimitetun eteläsuomalaisen ensiharvennuskannan keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 402 kg/m^3 ja muista harvennuksista tulevan mäntykuitupuun 416 kg/m^3 . Tässä tutkimuksessa ensiharvennuskannan tiheyden keskiarvot olivat hyvin lähellä Hakkilan uusia tuloksia.

Hakkilan (1968) mukaan kuusikuitupuun keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat etelästä pohjoiseen eri leveysasteilla seuraavat: 60.00–62.00 379 kg/m^3 , 62.01–64.00 383 kg/m^3 , 64.01–66.00 397 kg/m^3 ja leveysasteen 66.00 pohjoispuolella 387 kg/m^3 . Alueittainen vaihtelu oli tässä tutkimuksessa samansuuntaista ja pohjoisessa vielä jyrkempää. Tässä tutkimuksessa saatiin vastaavilla maantieteellisillä alueilla 10–15 kg/m^3 korkeammat tiheydet kuin Hakkilan tutkimuksissa. Hakkila (1966) määrittä eteläsuomalaisten kuusikuitupuurunkojen keskimääräiseksi tiheydeksi 382 kg/m^3 ja järeiden kuusten latvakuitupuun tiheydeksi 382 kg/m^3 . Hakkilan (2000) mukaan tehtaalle toimitetun eteläsuomalaisen ensiharvennusten kuusikuitupuun keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 374 kg/m^3 ja muiden harvennusten kuusikuitupuun 396 kg/m^3 . Tyrväinen (1995) määrittä keskisuomalaisen ensiharvennuskannan kuusikuitupuun tiheydeksi 396 kg/m^3 ja pääteläkuista saatavan kuusikuitupuun tiheydeksi 425 kg/m^3 .

Hakkilan (1966) mukaan eteläsuomalaisten koivu- kuitupuurunkojen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 495 kg/m^3 ja järeiden puiden latvakuitupuun tiheys 486 kg/m^3 eli tiheyden taso oli hieman alhaisempi kuin tässä tutkimuksessa. Verkasalon (1998) Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalta kerätystä aineistosta kuitupuurunkojen käyttöosan keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli kivennäismaiden rauduskuivulla 519 kg/m^3 , kivennäismaiden hieskuivulla 489 kg/m^3 ja turvemaiden hieskuivulla 484 kg/m^3 eli hieskuivulla samalla tasolla kuin tässä tutkimuksessa Pietarsaassa, jossa koivukuitupuun on käytännössä kokonaan hieskuivua. Verkasalo (1998) sai Etelä-Suomen istutusrauduskuivun keskimääräiseksi tiheydeksi vain 455 kg/m^3 , mikä tulos koskee nuoria, pääasiassa 20–40 -vuotiaita metsiköitä. Tällaisen koivuraaka-aineen osuus tulee vähitellen kasvamaan Etelä-Suomen selluloosatehtailla, kun 1960-luvulta lähtien istutetut koivikot tulevat hakuiden piiriin. Tämän tutkimuksen aineistossa ei sinänsä ollut yhtään tehdasta, joiden aineisto olisi saattujen tietojen mukaan sisältänyt huomattavassa määrin istutuskuivua.

Kärki (2000) tutki järeiden, tukkipuukokoisten haapojen keskimääräistä kuiva-tuoretiheyttä ja tiheyden vaihtelua rungon sisällä. Pieni kymmenen runkoa käsittänyt aineisto kerättiin tässä tutkimuksessa Pyhäselästä Pohjois-Karjalasta, jossa keskimääräinen tiheys oli 379 kg/m^3 . Kärkkäinen (1985) esitti haavan keskimääräiseksi tiheydeksi 397 kg/m^3 ; aineisto käsitti 197 ilmeisen nuorta haapaa päätellen niiden keskipituudesta 16 m. Tämän tutkimuksen haapakuitupuuhakkeen tiheyden keskiarvo oli näiden tutkimusten tulosten puolivälissä.

4.3 Tulosten soveltaminen

Massa- ja paperiteollisuudessa hyödynnettävän raaka-aineen määrää voidaan kuvata kuiva-tuoretiheydellä, joka tarkoittaa puuaineen kuivamassaa tuoreen puuaineen tilavuusyksikköä kohti. Teollisuushakkeen hinnoitteluperusteena on käytetty vuodesta 1986 lähtien kuiva-ainetonnina. Tähän on ollut pyrkimystä myös pyöreän kuitupuun osalta, erityisesti teollisuudessa; nämä ajatukset eivät ole toistaiseksi edenneet käytännön toimintaan Suomessa. Koska metsäosastojen käyttämä raaka-aineen määrän mit-

Taulukko 9. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeelle suositeltavat keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja mittauksen muuntokertoimet puolajeittain ja alueittain. Kuorellisia muuntokertoimia laskettaessa kuoriprosentiksi oletettu 12, mikä tarkoittaa 13,6 %:n lisäystä kuorettomaan tilavuuteen.

Puulaji Alue	Sahahake / vanerihake			Kuitupuuhake		
	Kuiva- tuoretiheys kg/m ³	Muuntokerroin (kuoreton) m ³ /ka-tn	Muuntokerroin (kuorell.) m ³ /ka-tn	Kuiva- tuoretiheys kg/m ³	Muuntokerroin (kuoreton) m ³ /ka-tn	Muuntokerroin (kuorell.) m ³ /ka-tn
Mänty						
Etelä-Suomi	435	2,30	2,61	409	2,45	2,78
Pohjois-Suomi	407	2,46	2,79	395	2,53	2,88
Kuusi						
Etelä-Suomi	404	2,48	2,81	393	2,55	2,89
Koivu						
Etelä-Suomi	496	2,02	2,29	494	2,03	2,30

tari on kuorellinen kiintotilavuus, tarvitaan raaka-ainemäärien vertailuun muuntokertoimet, joilla raaka-aineiden massayksiköt voidaan muuttaa tilavuusyksiköiksi. Tietoja eri raaka-ainelajien tiheyksistä tarvitaan puunkulutuslaskujen arvioinnissa, raaka-ainetaselaskennassa ja puutavarakirjanpidossa sekä kuituraaka-aineiden arvon vertailussa.

Tähän asti käytössä olleet teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet perustuivat 1980-luvulla Metsäntutkimuslaitoksessa tehtyihin selvityksiin (Uusvaara 1986). Kertoimilla muunnettiin aluksi hakkeen kuivamassa irtotilavuudeksi, jonka jälkeen irtotilavuus muunnettiin kiintotilavuudeksi toisilla kertoimilla. Muuntokertoimiin oli sisällytetty oletettu kuoriprosentti, joka oli 12 % kuorellisesta tilavuudesta, kaikilla puolajeilla. Kuusella käytettiin laskentaperusteena irtotilavuusyksikön kuivamassaa 143 kg/i-m³ ja tiiviyttä 0,44 m³/i-m³, männyllä vastaavat luvut olivat 153 kg/i-m³ ja 0,44 m³/i-m³ ja koivulla 169 kg/i-m³ ja 0,40 m³/i-m³. Eri tehtailla 1990-luvulla tehdyissä tarkastuksissa havaittiin käytössä olevien kertoimien olevan liian suuria, mikä tarkoitti aliarviota kuiva-tuoretiheydessä. Tehtaiden puunkulutuksen perusteella tehtiin samansuuntaisia arvioita.

Molempiin käytössä olleisiin muuntokertoimiin liittyi oletus hakkeen irtotilavuuden pakkautumisesta. Hakkeen pakkautumiseen on todettu vaikuttavan mm. hakkeen lastaus- ja kuljetustapa, kuljetusmatka ja tien laatu, hakkeen palakoko ja palakoon jakauma sekä kosteus ja puulaji (Uusvaara ja Heiskanen 1975). Täten edellistä menettelyä huomattavasti tarkempaa on laskea hakkeen kuiva-tuoretiheyksiin perustuvat kertoimet ja muuntaa kuivamassa suo-

Taulukko 10. Kuitupuun ja tukin keskimääräiset tilavuuskuoriprosentit puolajeittain Etelä- ja Pohjois-Suomessa (Heiskanen ja Rikkonen 1976, Saikku ja Rikkonen 1976, Kellomäki ja Salmi 1979).

Puulaji	Kuitupuun		Tukin	
	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Mänty	12	12	12	12
Kuusi	12	15	10	13
Koivu	13	16	11,5	...

raan kiintotilavuudeksi, jolloin oletuksia hakkeen pakkautumisesta ei tarvita.

Taulukossa 9 on esitetty tämän tutkimuksen perusteella männylle, kuuselle ja koivulle suositeltavat keskimääräiset hakelajikohtaiset ja alueittaiset kuiva-tuoretiheydet ja mittauksen muuntokertoimet. Mäntysahahakkeen kuivamassan muuntamisessa kiintotilavuudeksi suositellaan omia muuntokertoimia Pohjois- ja Etelä-Suomeen. Kuusisahakkeelle suositellaan yhtä muuntokerrointa Etelä-Suomeen, koska aineiston perusteella ei pystytty tekemään selkeää osa-aluejakoa ja toisaalta tiheysero tutkittujen alueiden välillä oli puuaineen ominaisuuksien taanomaiseen vaihteluun nähden varsin pieni. Koivu-vanerihakkeelle voidaan suositella yhtä muuntokerrointa. Tätä voidaan perustella myös sillä, että Suomen 19 koivua käyttävästä viilu- ja vaneritehtaasta 12 sijaitsee Itä-Suomessa ja vain 7 Länsi-Suomessa ja puunkäytössä Itä-Suomen tehtaiden osuus on suhteellisesti vielä huomattavasti suurempi (Metsäteollisuus ry 2000).

Kuiva-tuoretiheys oli kaikilla teollisuushakelajeilla ja alueilla korkeampi ja muuntokerroin vastaavasti pienempi kuin oli oletettu käytössä olleessa menetelmässä. Etelä-Suomessa kuorellisten muuntokerrointen ero oli sekä kuusi- että mäntysahahakkeella varsin suuri, noin 9 %, mutta verraten pieni koivuvanerihaakkeella ja Pohjois-Suomen mäntysahahakkeella, noin 3 %. Männyllä ja kuusella kuoreton kiintokuutiometri sahaketta sisältää suuremman määrän hyödynnettävää kuiva-ainetta kuin kuitupuuhake, ero oli männyllä koko aineistoissa noin 6 % ja kuusella Etelä-Suomessa noin 3 %. Koivulla vanerihakkeen ja kuitupuuhakkeen välillä ei ollut suhteessa eroa.

Korostettakoon, että taulukossa 9 muuntokerrointen laskennassa on vertailtavuuden vuoksi käytetty tilavuuskuoriprosenttia 12, joka vastaa eteläsuomalaisista havukuitupuuta. Haluttaessa tarkentaa muunnoksia on syytä käyttää puulajeittaisia ja alueellisia kuoriprosentteja. Taulukossa 10 on esitetty Etelä- ja Pohjois-Suomen puutavaran keskimääräiset tilavuuskuoriprosentit mänty-, kuusi- ja koivukuitupuulle (Saikku ja Rikkonen 1976) sekä havusahatuksille (Heiskanen ja Rikkonen 1976) ja koivuvanerihaakkeille (Kellomäki ja Salmi 1979).

Tulokset merkitsevät sitä, että kuorellinen kiintotilavuusyksikkö teollisuushaketta sisältää enemmän selluloosa- ja paperiteollisuudessa jalostuskelpoista kuiva-ainetta kuin käytössä olevat muuntokertoimet olettavat. Toisaalta kuivamassayksikköön tarvitaan tilavuusyksikkönä määritettynä vähemmän haketta kuin em. muuntokertoimet olettavat. Männyllä ja kuusella tilavuusyksikkö sahaketta sisältää enemmän hyödynnettävää kuiva-ainetta kuin kuitupuuhake.

Täsmentävää lisätutkimusta kaipaavat tämän tutkimuksen tulosten perusteella erot normaali- ja pikkukutukien sahausken sivutuotteina saatavan hakkeen tiheydessä, tukin koon vaikutus tiheyteen sekä Etelä-Suomen sisäiset tiheyserot kuusisahahakkeella ja koivuvanerihaakkeella. Kuitupuuhakkeen osalta hakkuuajankohdan merkitys (talvi, syksy) teollisuuden käyttämän kuitupuun kuiva-tuoretiheyteen jäi epävarmaksi. Joidenkin kuitupuulajien kohdalla lisäselvitykset voidaan katsoa tarpeellisiksi pieniksi jääneiden tavaralajikohtaisten näytemäärien vuoksi.

Tutkimuksen tuloksia voidaan kuitupuun osalta hyödyntää painomittauksen perusteiden tutkimuk-

sessä. Joko tuore- tai kuivamassan määrittämiseen perustuva painomittaus on kuitupuun mittauksen kehittämisen suurin haaste 2000-luvulla – jota se on ollut itseasiassa jo 1970-luvulta lähtien.

Kiitokset

Tutkimukset toteutettiin yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskuksen, Osuuskunta Metsäliiton, UPM-Kymmene Oyj Metsän ja Stora Enso Oyj Metsäosaston kanssa. Yhtiöt vastasivat pääosasta tutkimusten rahoituksesta. Teollisuushakkeen toimittajien ja kuljetusyrietyksien avustuksella saatiin tarvittavaa taustatietoa hakkeen valmistustavasta ja hakeraaka-aineen alkuperästä. Yhtiöiden oma henkilökunta vastasi kuitupuun aineiston keruun vaatimista erityisjärjestelyistä puunhankinnassa, puutavaran tehdasvastaanotossa ja puunkäsittelyssä sekä eri aineistojen keruusta tehtailla. Pääosa näytteistä analysoitiin yhtiöiden omissa laboratorioissa (UPM-Kymmene Oyj, Pulp Center, Pietarsaari; Stora Enso Oyj, tutkimuskeskus, Imatra; yksittäisten tehtaiden omat laboratoriot), mutta huomattavan osan laboratoriotöistä teki myös Lännen Laboratoriot Oy, Rauma. Tutkimusten johtoryhmätyöskentelyyn osallistuivat Metsäntutkimuslaitoksesta artikkelin kirjoittajat, Osuuskunta Metsäliitosta Risto Lilleberg ja Oy Metsä-Botnia Ab:stä Kosti Kukkonen, UPM-Kymmene Oyj:stä Jukka Ouni ja Heikki Öhman ja Stora Enso Oyj:stä Esko Marsio, Matti Niiranen ja Hannu Sonni. Esitämme parhaat kiitokset kaikille tutkimusten valmistamiseen myötävaikuttaneille organisaatioille ja henkilöille.

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). 98 s.
- 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. *Seloste: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Communicationes Insti-*

- tuti Forestalis Fenniae 66(8). 60 s.
- 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 Institutii Forestalis Fenniae 96(3). 59 s.
- 2000. Kuitupuun laadun vaihtelu ja lajitteluperusteet. Harvennuspuiden jalostusketju, Metsätehon seminaari. Tikkurila 8.–9.2.2000. Esitelmämoniste.
- , Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennuskäytännöt kuitu- ja energialähteenä. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s. + liitteet 6 s.
- Heiskanen, H. & Paajanen, T. 1997. Sahakoneiden vertailu. OTAWOOD-ryhmän tutkimuksia. Teknillinen korkeakoulu, Puutekniikka. Espoo. 91 s.
- Heiskanen, V. & Rikkinen, P. 1976. Havusahatukkiin kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. Folia Forestalia 250. 67 s.
- Kellomäki, S. (toim.). 1998. Forest resources and sustainable management. Papermaking science and technology, book 2. Gummerus Oy. Jyväskylä. 425 s.
- & Salmi, J. 1979. Koivuvaneritukkiin kuoren määrä. Summary: Bark quantity of birch logs. Folia Forestalia 413. 16 s.
- Koponen, H. 1995. Puulevytuotanto. Opetushallitus. Gummerus Oy. Helsinki. 212 s.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. 415 s.
- Metsäteollisuus ry. 2000. Avain Suomen metsäteollisuuden. Helsinki. 124 s.
- Sahateollisuus, Mekaaninen metsäteollisuus 2. 1986. Ammattikasvatustieteiden tutkimuskeskus, Suomen puuteollisuusinsinöörien yhdistys ry. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 290 s.
- Saikka, 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 43:95. 1995. Massanvalmistuksessa käytettävä hake, kuiva-tuoreiheys. Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Uusittu suomenkielinen käännös. 4 s.
- Sevola, Y. (toim.). 2001. Metsätaloustieteellinen vuosikirja 2000. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2000:14. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä. 366 s.
- Sipi, M. 1998. Sahatavaratuotanto. Opetushallitus. Haka-paino Oy. Helsinki. 190 s.
- Tyrväinen, J. 1995. Wood and fiber properties of Norway spruce and its suitability for thermomechanical pulping. Acta Forestalia Fennica 249. 155 s.
- Uusvaara, O. 1969. Sahanhakkeen tiheydestä ja painosta. Puumies 1–2/1969. Jyväskylä. 3 s. Eripainos.
- 1971. Vaneritehtaan jätetuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Summary: On the properties of chips prepared from plywood plant waste. Folia Forestalia 107. 17 s.
- 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of sawmill chips. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 75(4). 50 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.
- Verkasalo, E. 1992. Forest industry as a producer and consumer of wood-based energy in Finland. Tiivistelmä: Metsäteollisuus puupohjaisen energian tuottajana ja kuluttajana Suomessa. Silva Fennica 26(2): 123–131.
- 1998. Raudus- ja hieskoivun laatu puuaineen tiheyden perusteella arvioituna. Julkaisussa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.), Rauduskoivu tänään – ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 668: 127–140.

25 viitettä

Henkilökohtaiset tiedonannot

- Kukkonen, Kosti. Oy Metsä-Botnia Ab, Äänekoski.
Niiranen, Matti. Stora Enso Oyj, Kemi.
Öhman, Heikki. UPM-Kymmene Oyj, Pietarsaari.