

METSÄNTUTKIMUSLAITOS 2001

Kuitupuuhakkeen tiheys

Jari Lindblad
Erkki Verkasalo



JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS

METLA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS 2001

Kuitupuuhakkeen tiheys

Jari Lindblad

Erkki Verkasalo

JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS

METLA

Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Kuitupuuhakkeen tiheys. Yhteistutkimushankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 24 s. + liitteet 4 s.

TIIVISTELMÄ

Teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet –tutkimuksessa päivitettiin sahan- ja vanerihakkeen suuraluekohtaiset kuiva-tuoretiheydet ja muuntokertoimet kuivamassan ja kuorellisen/kuorettoman tilavuuden välillä. Syksyllä 1999 ryhdyttiin valmistelevaan vastaavaa tutkimusta kuitupuuhakkeelle. Molempien tutkimuksien toimeksiantajina olivat Osuuskunta Metsäliitto, UPM-Kymmene Oyj ja Stora Enso Metsäosasto.

Tutkimuksen päätavoite oli määrittää hakeanalyysien mänty-, kuusi- ja koivukuitupuun suuraluekohtaiset keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet. Lisäksi tarkasteltiin erikseen männyllä ensiharvennuksista ja myöhemmistä hakkuista kertyvää kuitupuuta, kuusella hiomo- ja sellukuitupuuta ja koivulla tuontipuuta ja kotimaista kuitupuuta. Haapahakkeesta kerättiin suppea aineisto. Aineistot kerättiin massa- ja paperitehtailta kahdessa vaiheessa; talvi- ja syksy-aineistoista kertyi yhteensä 953 näytteen aineisto.

Mäntykuitupuulla keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli Etelä-Suomessa 409 kg/m³ ja Pohjois-Suomessa 395 kg/m³. Tiheydet olivat selvästi alempia kuin sahanhakkeelle saadut tiheysarvot. Ensiharvennusmännyn tiheys oli alempi kuin normaalimännyn mutta ero oli kohtalaisen pieni. Kuusikuitupuun kuiva-tuoretiheydeksi saatiin Pohjois-Suomessa 408 kg/m³ ja Etelä-Suomessa 393 kg/m³; Etelä-Suomessa kuusisahanhakkeen kuiva-tuoretiheys oli korkeampi kuin kuitupuuhakkeella. Sellu- ja hiomokuitupuun välillä ei havaittu eroa. Koivukuitupuun kuiva-tuoretiheys oli Pohjois-Suomessa 481 kg/m³ ja Etelä-Suomessa 494 kg/m³, tuontipuun tiheys poikkesi vain vähän eteläsuomalaisesta koivukuitupuusta. Koivukuitupuuhakkeen ja vanerihakkeen tiheyksissä ei ollut eroa. Haapahakkeen keskimääräiseksi kuiva-tuoretiheydeksi saatiin 388 kg/m³.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3 TULOKSET	7
3.1 Mäntykuitupuuhake	7
3.2 Kuusikuitupuuhake	12
3.3 Koivukuitupuuhake	15
3.4 Haapahake	18
4 JOHTOPÄÄTÖKSET, SUOSITUKSET JA KUITUPUU- JA TEOLLISUUSHAKKEEN VERTAILU	20
KIRJALLISUUS	24
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Helmi-elokuussa 1999 toteutettiin tutkimus Teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet, jossa päivitettiin sahan- ja vanerihakkeen suuraluekohtaiset kuiva-tuoretiheydet ja muuntokertoimet kuivamassan ja kuorellisen/kuorettoman tilavuuden välillä. Tämän Metsäntutkimuslaitoksessa toteutetun yhteistutkimuksen toimeksiantajina olivat Osuuskunta Metsäliitto, UPM-Kymmene Oyj Metsä ja Stora Enso Metsäosasto. Samojen toimeksiantajien aloitteesta ryhdyttiin syyskuussa 1999 valmistelemaan vastaavan tutkimuksen toteuttamista kuitupuuhakkeesta.

Tutkimukselle muodostettiin johtoryhmä syksyllä 1999. Metsäntutkimuslaitoksesta johtoryhmään kuuluivat professori Erkki Verkasalo ja tutkija Jari Lindblad. Tutkimuksen vas-
tuullisena johtajana toimi Verkasalo. Toimeksiantajia johtoryhmässä edustivat:

- Kosti Kukkonen, Oy Metsä-Botnia Ab; Risto Lilleberg, Osuuskunta Metsäliitto
- Jukka Ouni ja Heikki Öhman, UPM-Kymmene Oyj
- Esko Marsio ja Hannu Sonni, Stora Enso Oyj

Tietoja kuitupuuhakkeen tiheydestä tarvitaan kuituraaka-aineiden arvon vertailua, puunkulutuslukupien arviointia, raaka-ainetaselaskentaa ja puutavarakirjanpitoa varten. Perustiedot tiheydestä ovat tarpeellisia kuitupuun painomittauksen kehitystyössä pitkällä tähtäimellä. Edellä mainittuja tarkasteluja ja vertailuja varten on käytettävissä oltava ajantasaiset mänty-, kuusi- ja koivukuitupuun tiheysluvut.

Tämän tutkimuksen päätavoite oli määrittää hakeanalyysin Suomessa sijaitsevien massa- ja paperitehtaiden männyn, kuusen ja koivun kuitupuutavarakirjan sumista valmistettujen hakkeiden keskimääräiset tehdaskohtaiset kuiva-tuoretiheydet sekä kuivamassan ja kiintotilavuuden väliset muuntokertoimet eri vuodenaikoina. Alueittain vertailtiin Pohjois-, Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen tehtaiden haketta. Havukuitupuun osalta tarkastelu tarkennettiin männyn normaaliin ja ensiharvennuksista kertyvään kuitupuuhun ja kuusella hiomo- ja sellukuitupuuhun. Vuodenaikojen suhteen tarkasteltiin erikseen talvi- ja kesäkorjuusta tulevaa kuitupuuta, koska hakkuiden painopiste vaihtelee eri vuodenaikoina metsän kantavuusolojen ja hakkuutapojen mukaan.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimusta varten kerättiin empiirinen hakeaineisto eri puolilla Suomea sijaitsevilta massa- ja paperitehtailta mänty-, kuusi- ja koivukuitupuusta sekä rajoitetussa määrin haapahakkeesta. Tehtaat valittiin siten, että kuitupuun hankinta-alueet vastasivat mahdollisimman hyvin aiemmin tehdyn teollisuushaketutkimuksen hakkeen toimittajien hankinta-alueita.

Tutkimuksen aineisto kerättiin kahdessa vaiheessa, koska haluttiin varmistaa, että hakkuiden rakenteen mahdollinen vaihtelu vuodenajan mukaan ei aiheuta harhaa tuloksissa. Tammi- maaliskuussa 2000 kerättiin ns. talviaineisto talvella hakatusta puusta (rehevät kasvupaikat, huonosti kantavat maat, mänty- ja koivuharvennusleimikoiden määrä normaalisti keskimääräistä pienempi, valtaosa kuusi- ja koivuharvennusleimikoista). Toisessa vaiheessa syys- marraskuussa 2000 kerättiin ns. syksyaineisto kesällä ja alkusyksyllä hakatusta puusta (kantavat kangasmaat, mänty- ja koivuharvennusleimikoiden määrä keskimääräistä suurempi, vähän tai ei lainkaan kuusi- ja kuusi-koivuharvennusleimikoita). Molemmissa vaiheissa aineistoa kerättiin noin 20 hakenäytettä / tehdas / puutavaralaji. Eri tehtailta kerättiin eri puutavaralajien aineistoa taulukon 1 mukaisesti. Talvi- ja syksyaineiston yhteenlasketut hakenäytemäärät puu- ja tavaralajeittain on esitetty taulukossa 2.

Hakenäytteet otettiin pääsääntöisesti tehtaiden normaalista prosessista kuorinnan ja haketuksen jälkeen seulomattomasta hakkeesta. Tällöin aineiston keruu ei vaatinut erityisjärjestelyjä, vaan näytteitä otettiin tasaisin väliajoin tavallisesti 1–2 viikon aikana, mutta joissakin tapauksissa myös lyhyemmällä aikavälillä.

Taulukko 1. Aineiston puutavaralajit alueittain ja tehtaittain.

ALUE	TEHDAS	PUUTAVARALAJI
Pohjois-Suomi	Stora Enso, Kemijärvi	mänty, sellukuusi
	Metsä-Botnia, Kemi	koivu (kotimainen)
	UPM-Kymmene, Kajaani	kuusi
Länsi-Suomi	UPM-Kymmene, Pietarsaari	normaalimänty, ensiharvennusmänty, sellukuusi, koivu (kotimainen)
	Metsä-Rauma, Rauma	mänty
Keski-Suomi	Metsä-Botnia, Äänekoski	mänty, koivu (kotimainen), haapa
	UPM-Kymmene, Kaipola	kuusi
	UPM-Kymmene, Jämsänkoski	kuusi
Itä-Suomi	UPM-Kymmene, Kuusanniemi	mänty, koivu (tuonti)
	UPM-Kymmene, Kaukas	normaalimänty, koivu (kotimainen)
	Stora Enso, Kaukopää	ensiharvennusmänty, sellukuusi (tuonti)
	Stora Enso, Uimaharju	normaalimänty, koivu (tuonti)
	Stora Enso, Anjalankoski	kuusi

Taulukko 2. Hakenäytemäärät puu- ja taveralajeittain talvi- ja syksyaineistoissa.

PUULAJI	TAVARALAJI	TALVIAINEISTO KPL	SYKSYAINEISTO KPL	KOKONAISMÄÄRÄ KPL
Mänty	Mänty *)	69	79	148
	Normaalimänty	76	60	136
	Ensiharvennusmänty	49	40	89
	<i>Mänty yhteensä</i>	<i>194</i>	<i>179</i>	<i>373</i>
Kuusi	Hiomokuusi	80	85	165
	Sellukuusi	59	56	115
	<i>Kuusi yhteensä</i>	<i>139</i>	<i>141</i>	<i>280</i>
Koivu	Kotimaa	91	80	171
	Tuonti	48	40	88
	<i>Koivu yhteensä</i>	<i>139</i>	<i>120</i>	<i>259</i>
Haapa		20	21	41
Yhteensä		492	461	953

*) Kuitupuutaveralajeja ei ole eritelty

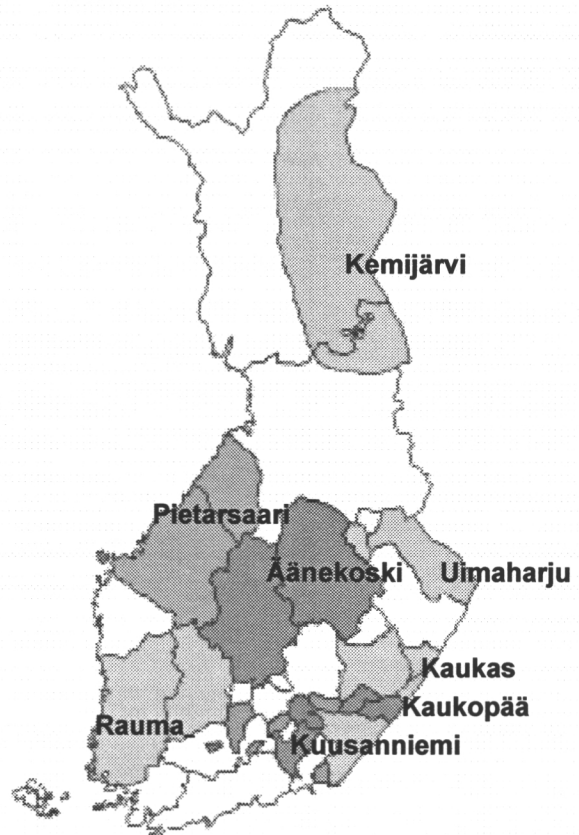
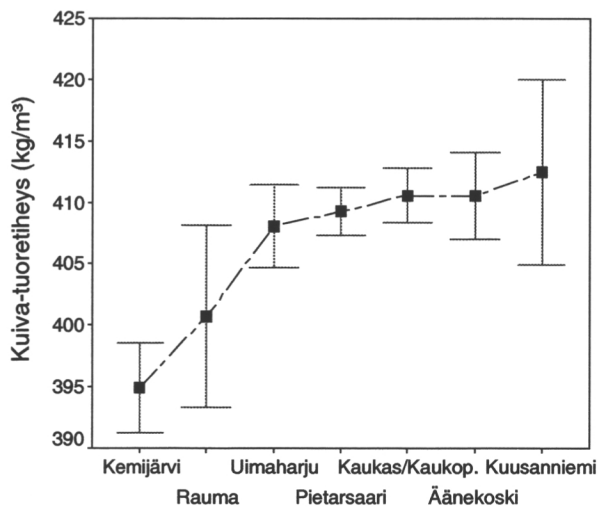
Valtaosa kotimaisen puun hakenäytteistä otettiin autokuljetuksin tehtaalle toimitetusta kuitupuusta. Kemijärvellä puulajipuhtauteen pääsemiseksi kerättiin erilliset mänty- ja kuusikuitupuutarastot, jotka ajettiin perättäin kuorintaprosessiin. Kaikki tarvittavat näytteet (20 näytettä / puutaveralaji) otettiin näiden ajojen aikana. Uimaharjussa meneteltiin samoin normaalinäytteen ja tuoreen tuontikoivun saamiseksi aineistoon. Myös Kuusanniemessä ja Kaukaalla kerättiin tätä tutkimusta varten omat kuitupuutarastot, jotka kuorittiin ja hakettiin useissa erissä erillisillä, autoalustaisilla laitteilla.

Yhden hakenäytteen irtotilavuus oli noin 10–15 litraa. Kuiva-tuoretiheydet analysoitiin SCAN-CM 43:95 –standardin mukaisella menetelmällä (liite). UPM-Kymmene Oyj:n tehtailla kerätyt näytteet analysoitiin Pulp Centerissä Pietarsaarella ja Stora Enso Oyj:n näytteet Imatran tutkimuskeskuksessa. Metsä-Botnian Kemin ja Äänekosken näytteet analysoitiin tehtaiden omissa laboratorioissa. Lännen Laboratoriot Oy analysoi Metsä-Raumalla kerätyt näytteet.

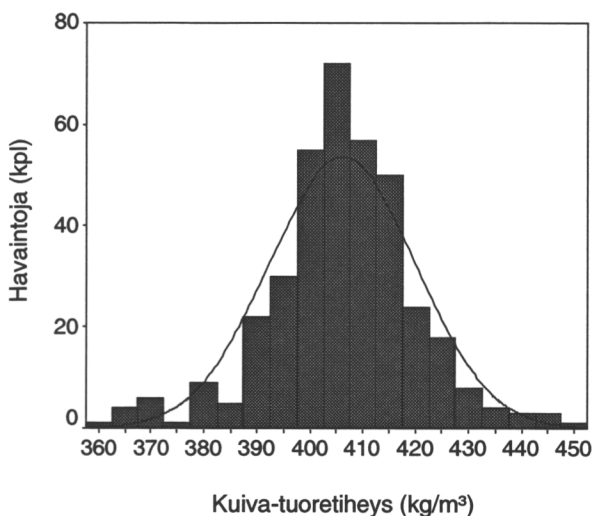
3 TULOKSET

3.1 Mäntykuitupuuhake

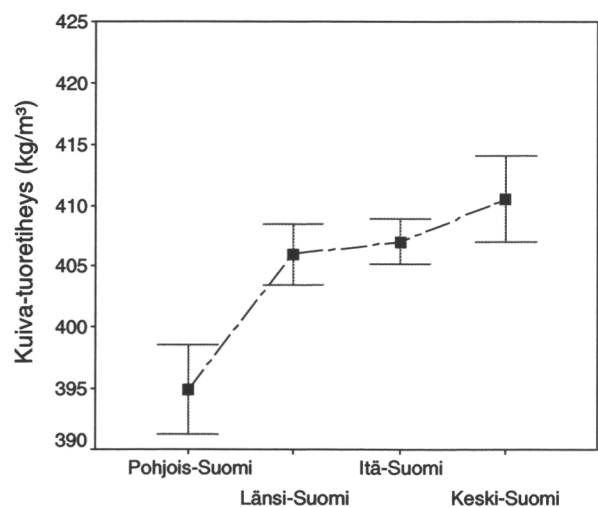
Mäntyaineistoa kerättiin kaikkiaan kahdeksalta tehtaalta pelkästään kotimaisesta puutavarasta. Kemijärven, Rauman, Äänekosken ja Kuusanniemen aineistoissa puutavaraa ei eritelty kuitupuutaveralajin mukaan. Länsi-Suomessa Pietarsaaren aineisto jaoteltiin keskenään



Kuva 1. Mäntykuitupuun hankinta-alueet tehtaittain (oik.), sekä niitä vastaavat hakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit (vas.). Pietarsaaren keskiarvoa on painotettu ensiharvennumännyn ja normaalimännyn käyttömäärillä 20 % ja 80 %. Kaukopään ja Kaukaan yhdistetty keskiarvo on laskettu painotuksilla 10 % ensiharvennumäntyä (Kaukopään aineisto) ja 90 % normaalimäntyä (Kaukaan aineisto).



Kuva 2. Mäntykuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoretiheyden mukaan.



Kuva 3. Mäntykuitupuuhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit alueittain.

Taulukko 3. Mäntykuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheydet tehtaittain, kg/m³.

	N. kpl	Keskiarvo	Mediaani	Keskiha- jonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin
Kemijärvi	40	395	392	11,6	1,8	373	420
Pietarsaari ¹⁾	41	406	406	4,5	0,7	395	415
Pietarsaari ²⁾	56	410	410	9,8	1,3	388	432
Rauma	41	401	402	23,6	3,7	359	443
Äänekoski	40	411	410	11,2	1,8	381	444
Kuusanniemi	27	412	416	19,1	3,7	363	449
Kaukas ²⁾	40	411	412	11,7	1,9	378	435
Kaukopää ¹⁾	48	402	403	7,5	1,1	386	418
Uimaharju ²⁾	40	408	405	10,5	1,7	392	441
Koko aineisto	373	406	407	13,8	0,7	359	449

¹⁾ ensiharvennusmänty, ²⁾ normaalimänty, muut lajittelematonta mäntyä

vertailuviin ensiharvennus- ja normaalimäntyaineistoihin. Itä-Suomessa kerättiin vastaavat näytteet ensiharvennusmäntyhakkeesta Kaukopäessä ja normaalimäntyhakkeesta Kaukaalla ja Uimaharjussa.

Taulukosta 3 ja kuvasta 1 nähdään tehdaskohtaiset mäntykuitupuun keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet. Vertailtavuuden vuoksi (kuva 1) Pietarsaaren mäntykuitupuuhakkeen tiheyskeskiarvo laskettiin käyttämällä ensiharvennusmännylle painokerrointa 0,2 (käyttömäärä noin 20 % kokonaiskulutuksesta) ja normaalimännylle kerrointa 0,8 (käyttömäärä noin 80 % kokonaiskulutuksesta). Kaukopään ja Kaukaan aineistot yhdistettiin painottaen vastaavasti ensiharvennusmäntyä kertoimella 0,1 ja normaalimäntyä kertoimella 0,9. Tutkimuksen mäntyaineistolle toteutuneet hankinta-alueet on esitetty kuvan 1 kartassa.

Kemijärven hakkeen keskimääräinen tiheys oli alhaisin, vastaavasti Kuusanniemessä kerätyn aineiston tiheyskeskiarvo oli suurin (kuva 1, taulukko 3). Yksittäisiä merkitseviä eroja havaittiin myös eräiden muiden yksittäisten tehtaiden välillä. Kemijärven aineiston tiheys poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikista muista tehtaista Raumaa lukuun ottamatta.

Alueittaisessa vertailussa (kuva 3) 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 Kemijärven näytteistä. Pohjois-Suomen keskimääräinen tiheys oli alhaisin ja Keski-Suomen tiheys korkein; ero oli noin 16 kg/m³. Varianssianalyysillä aineistoa testattaessa Pohjois-Suomen tiheys poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikista muista alueista; sen sijaan Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

Taulukko 4. Ensiharvennus- ja normaalimäntyhakkeen kuiva-tuoretiheys Länsi- ja Itä-Suomessa, kg/m³.

ALUE	ENSIHARVENNUSMÄNTY			NORMAALIMÄNTY		
	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

Taulukko 5. Mäntykuitupuuhakkeen talvi- ja syksyaineiston kuiva-tuoretiheydet alueittain, kg/m³.

ALUE	TALVI			SYKSY		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Länsi-Suomi	77	413	10,0	61	397	15,3
Keski-Suomi	20	408	5,7	20	413	14,5
Itä-Suomi	68	405	10,3	60	409	10,4
Pohjois-Suomi	20	398	12,2	20	392	10,2
Koko aineisto	194	408	11,3	179	404	15,9

Mäntykuitupuuhakkeen tiheyden alueellinen vaihtelu (kuva 3) on samansuuntainen kuin aiemmassa teollisuushaketutkimuksessa mäntysahanhakkeella. Mäntysahanhakkeella tiheys oli Pohjois-Suomessa suhteellisesti vielä Etelä-Suomea alhaisempi kuin mäntykuitupuuhakkeella. Keskimääräisten tiheyksien erot Länsi-, Keski- ja Itä-Suomen välillä olivat sekä sahanhakkeella että kuitupuuhakkeella varsin pieniä.

Normaalimäntyhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat ensiharvennusmäntyhakkeen tiheyksiä suuremmat sekä Länsi- että Itä-Suomessa (taulukko 4). Länsi-Suomessa keskimääräinen ero oli 4 kg/m³ ja Itä-Suomessa 9 kg/m³; erot olivat myös tilastollisesti merkitseviä (Länsi-Suomi: df = 95, t = 2,849, p = 0,005; Itä-Suomi: df = 86, t = 4,353, p = 0,000). Länsi-Suomen ensiharvennusmäntyaineisto oli muusta aineistosta poiketen kokonaisuudessaan syysleimikoiden puuta (kestävän maan leimikoita), mikä selittänee osaksi pienemmän eron normaalimäntyaineistoon nähden kuin Itä-Suomessa (sekä kantavan että pehmeän maan leimikoita).

Verrattaessa talvi- ja syksyaineistoja tehtaittain ei yhdensuuntaista tiheyseroa löytynyt. Mäntyaineistoa keränneistä tehtaista puolella keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli alempi talviaineistossa, toisella puolella syksyaineistossa. Myöskään alueittaisessa vertailussa tiheyserot eivät olleet samansuuntaisia. Kaikilla Itä-Suomen tehtailla (Uimaharju, Kaukas, Kaukopää)

Taulukko 6. Mäntysahanhakkeen ja –kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m³; Etelä-Suomen kuitupuuhakkeella painotettu keskiarvo ensiharvennus- ja normaalimäntyhakkeen arvioitujen käyttömäärien mukaisesti.

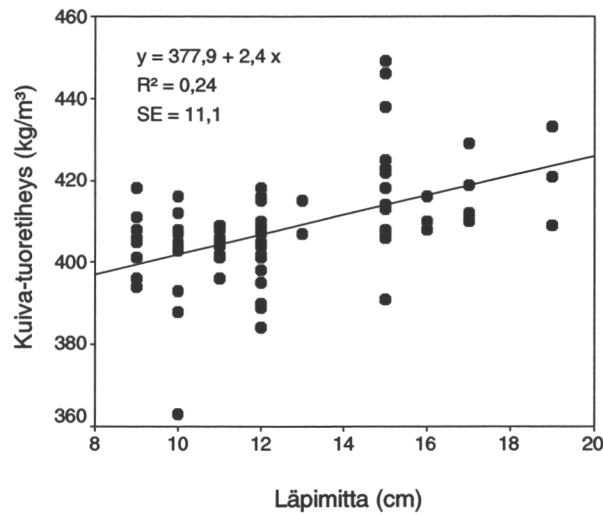
ALUE	SAHANHAKE			KUITUPUUHAKKE		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Etelä-Suomi	221	435	16,1	333	409	15,7
Pohjois-Suomi	48	407	11,1	40	395	11,6
Koko aineisto	269	430	18,9	373	406	13,8

keskimääräinen tiheys oli suurempi syksyaineistossa, Länsi-Suomen tehtailla (Rauma, Pietarsaari) tilanne oli päinvastainen. Taulukossa 5 on esitetty keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet alueittain talvi- ja syksyaineistoissa. Länsi-Suomea lukuun ottamatta tiheyserot vuodenaikojen välillä olivat melko vähäisiä. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä Länsi-Suomen ohella Itä-Suomessa ja koko mäntykuitupuuhakeaineistossa.

Teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet –hankkeen tulosten perusteella suositeltiin mäntysahanhakkeelle erillisiä kuiva-tuoretiheyksiä Etelä- ja Pohjois-Suomeen. Mäntykuitupuuhakkeen tiheydet laskettiin vastaaville alueille. Alueittainen vertailu hakelajien välillä on esitetty taulukossa 6. Etelä-Suomessa sahanhake oli keskimäärin 26 kg/m³ kuitupuuhaketta tiheämpää, Pohjois-Suomessa ero oli 12 kg/m³. Erot olivat molemmissa tapauksissa tilastollisesti merkitseviä (Etelä-Suomi: df = 552, t = 21,994, p = 0,000; Pohjois-Suomi: df = 86, t = 4,776, p = 0,000). Kuitupuuhakkeella tiheysero Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä oli huomattavasti pienempi kuin sahanhakkeella, keskimäärin vain 14 kg/m³; ero oli silti tilastollisesti merkitsevä (df = 371, t = 5,653, p = 0,000).

Kaukaan, Pietarsaaren ja Kuusanniemen näytteenottomenetelmät mahdollistivat kuitupuuerien keskusläpimitan selvittämisen tiheysnäytekohtaisesti. Kuvassa 4 on esitetty mäntykuitupuuhakenäytteiden tiheyden riippuvuus näytteen alkuperänä olleen kuorman tai nipun puutavaran arvioidusta keskusläpimitaluokasta. Kuiva-tuoretiheys kasvoi läpimitan kasvaessa. Yhden senttimetrin lisäys läpimitassa aiheutti 2,4 kg/m³ lisäyksen kuiva-tuoretiheydessä.

Hakkilan (1968) mukaan mäntykuitupuun keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat etelästä pohjoiseen eri leveysasteilla seuraavat: 60.00–62.00 398 kg/m³, 62.01–64.00 401 kg/m³, 64.01–66.00 407 kg/m³ ja leveysasteen 66.00 pohjoispuolella 379 kg/m³. Alueellinen vaihtelu oli tässä tutkimuksessa hyvin samanlaista. Hakkilan (1966) mukaan eteläsuomalaisten mäntykuitupuurunkojen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 417 kg/m³ ja järeiden mäntyjen latva-



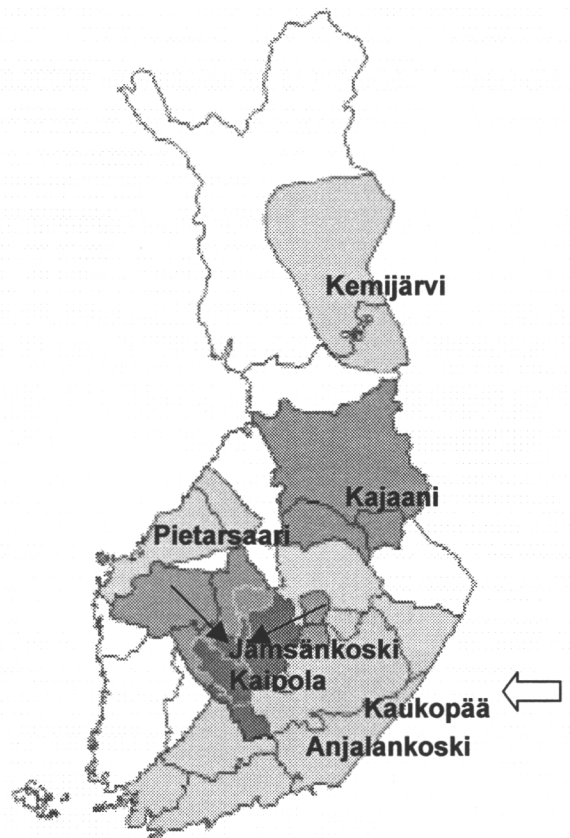
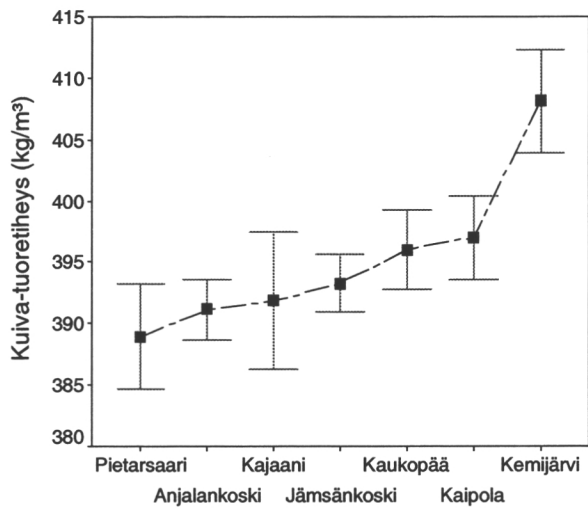
Kuva 4. Näytteen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus kuorman tai nipun puutavaran arvioidusta keskusläpimittaluokasta mäntykuitupuuhakkeella.

kuitupuun tiheys 386 kg/m^3 . Tässä tutkimuksessa keskimääräinen tiheys oli loogisesti näiden keskiarvojen välillä. Hakkila ym. (1995) määrittivät eteläsuomalaisen ensiharvennumännyn keskimääräiseksi kuiva-tuoretiheydeksi 395 kg/m^3 . Hakkilan (2000) uuden tutkimuksen mukaan tehtaille toimitetun eteläsuomalaisen ensiharvennumännyn keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 402 kg/m^3 ja muista harvennuksista tulevan mäntykuitupuun 416 kg/m^3 . Tässä tutkimuksessa ensiharvennumäntyhakkeen tiheyden keskiarvot olivat hyvin lähellä Hakkilan uusia tuloksia. Tiheydet analysoitiin kaikissa em. tutkimuksissa kiekkonäytteistä.

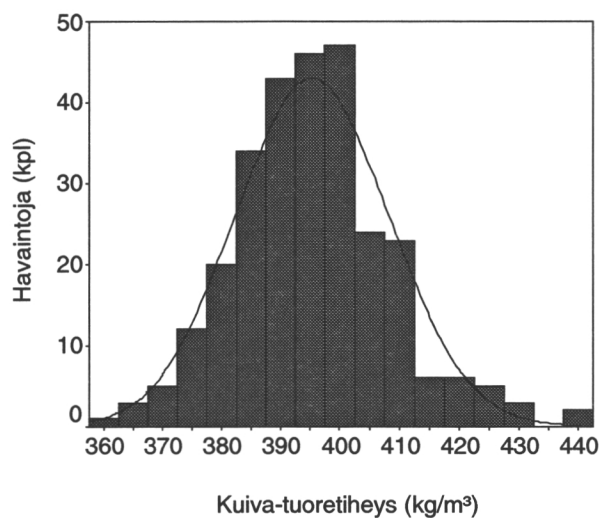
3.2 Kuusikuitupuuhake

Kuusikuitupuuhakeaineistoa kerättiin seitsemältä tehtaalta, Kajaanissa, Kaipolassa, Jämsänkoskella ja Anjalankoskella hiomokuitupuusta ja Pietarsaassa, Kaukopäässä ja Kemijärvellä sellukuitupuusta. Kaukopään aineisto oli kokonaisuudessaan tuontipuuta, Anjalankosken näytteet sisälsivät alle 10 % tuontipuuta. Kuvassa 5 on esitetty kuusikuitupuun toteutuneet hankinta-alueet. Kuvasta 5 ja taulukosta 7 nähdään keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet tehtaittain. Kuusikuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoretiheyden mukaan nähdään kuvasta 6.

Kuusikuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli Kemijärvellä korkeampi kuin muilla tehtailla ($df = 6$, $F = 11,857$, $p = 0,000$), joiden keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla. Alueittaisessa tarkastelussa (taulukko 8) Kemijärven aineisto edusti Pohjois-Suomea, Kaukopään tuontipuuhakeaineistoa lukuun ottamatta kaikkien muiden tehtaiden tiheyshavainnot koottiin Etelä-Suomen aineistoksi, ml. Kajaanin aineisto. Pohjois-Suomen kuusikuitupuuhakkeen kes-



Kuva 5. Kuusikuitupuun hankinta-alueet tehtaittain (oik.) sekä niitä vastaavat hakkeen keskimääräiset kuiva-tuoreiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit (vas.).



Kuva 6. Kuusikuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoreiheyden mukaan.

kimääräinen kuiva-tuoreiheys oli 15 kg/m^3 korkeampi kuin Etelä-Suomen. Ero oli tilastollisesti merkitsevä ($df = 137$, $t = 6,361$, $p = 0,000$).

Taulukko 7. Kuusikuitupuuhakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet tehtaittain, kg/m³.

	N, kpl	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Keskiarvon keskiarvo	Pienin	Suurin
Kemijärvi	41	408	409	13,2	2,1	374	439
Kajaani	40	392	386	17,4	2,8	362	442
Pietarsaari	36	389	392	12,6	2,1	365	412
Kaipola	40	397	398	10,7	1,7	374	421
Jämsänkoski	45	393	395	7,7	1,1	376	407
Kaukopää	38	396	395	9,8	1,6	381	423
Anjalankoski	40	391	393	7,6	1,2	380	404
Koko aineisto	280	395	395	13,0	0,8	362	442

Taulukko 8. Kuusisahanhakkeen ja -kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheydet Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m³.

ALUE	SAHANHAKE			KUITUPUUIHAKKE		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
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

Teollisuushaketutkimuksessa kuusisahanhakkeelle suositeltiin samaa kuiva-tuoretiheystasoa koko Etelä-Suomeen (404 kg/m³). Sahanhake oli Etelä-Suomessa noin 11 kg/m³ kuitupuuhaketta tiheämpää (taulukko 8). Ero oli myöskin tilastollisesti merkitsevä (df = 410, t = 7,618, p = 0,000).

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

Eteläsuomalaisen kuusikuitupuuhakkeen keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla talvi- ja syksyaineistossa (taulukko 9). Pohjois-Suomessa talviaineiston keskimääräinen tiheys oli 6 kg/m³ syksyaineistoa korkeampi, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (df = 39, t = 1,304, p = 0,200).

Hakkilan (1968) mukaan kuusikuitupuun keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat etelästä pohjoiseen eri leveysasteilla seuraavat: 60.00–62.00 379 kg/m³, 62.01–64.00 383 kg/m³, 64.01–66.00 397 kg/m³ ja leveysasteen 66.00 pohjoispuolella 387 kg/m³. Alueellinen vaihtelu oli tässä tutkimuksessa samansuuntaista ja pohjoisessa vielä jyrkempää. Hakkila (1966) mää-

Taulukko 9. Kuusikuitupuuhakkeen talvi- ja syksyaineiston kuiva-tuoretiheydet Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m³.

ALUE	TALVI			SYKSY		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Etelä-Suomi	118	393	11,7	121	393	11,6
Pohjois-Suomi	21	411	11,7	20	405	14,3
Koko aineisto	139	396	13,3	141	395	12,7

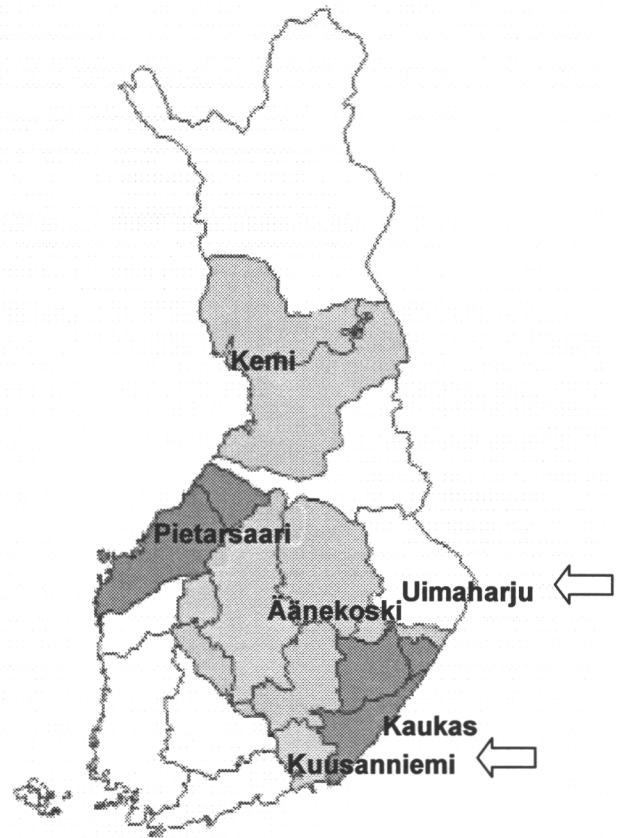
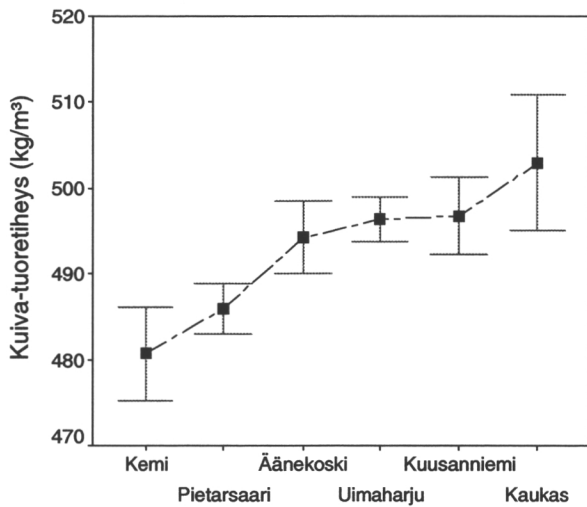
ritti eteläsuomalaisten kuusikuitupuurunkojen keskimääräiseksi tiheydeksi 382 kg/m³ ja järeiden kuusten latvakuitupuun tiheydeksi 378 kg/m³. Hakkilan (2000) mukaan tehtaalle toimitetun eteläsuomalaisen ensiharvennusten kuusikuitupuun keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 374 kg/m³ ja muiden harvennusten kuusikuitupuun 396 kg/m³. Tässä tutkimuksessa saatiin vastaavilla maantieteellisillä alueilla 10–15 kg/m³ korkeammat tiheydet kuin Hakkilan tutkimuksissa.

3.3 Koivukuitupuuhake

Koivukuitupuuhakeaineistoa kerättiin yhteensä kuudelta tehtaalta. Kemissä, Pietarsaassa, Äänekoskella ja Kaukaalla näytteet otettiin kotimaisesta kuitupuusta, Uimaharjussa ja Kuusanniemellä tuontipuusta. Tutkimuksen koivuaineistolle toteutuneet hankinta-alueet on esitetty kuvan 7 kartassa. Aineiston jakauma kuiva-tuoretiheyden mukaan nähdään kuvasta 8.

Taulukossa 10 on esitetty koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheyden keski- ja hajontaluvut tehtaittain. Saman taulukon keskiarvot on esitetty graafisesti kuvassa 7. Kemin koivukuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli alhaisin ja poikkesi tilastollisesti merkitsevästi kaikkien muiden tehtaiden hakkeesta, Pietarsaarta lukuun ottamatta. Kaukaan tiheystaso oli korkein ja poikkesi tilastollisesti merkitsevästi sekä Pietarsaaren että Kemin tiheyksistä, joissa hake oli käytännössä kokonaan rauduskoivua luontaisesti kevyempää hieskoivua. Äänekosken aineiston sekä tuontipuusta koostuvien Uimaharjun ja Kuusanniemen aineistojen tiheydet olivat lähellä toisiaan. Kemin ja Pietarsaaren koivua voi ainakin tässä aineistossa kutsua yhdessä ”Pohjanmaan koivuksi”.

Teollisuushakkeen mittauksen muuntokertoimet –hankkeessa kerättiin suppea aineisto koivuvanerihakkeesta, joka sisälsi noin neljäsosan Venäjän lähialueilta tullutta koivutukkia. Taulukossa 11 Pietarsaaren, Äänekosken ja Kaukaan aineistot muodostavat Etelä-Suomen koivu-



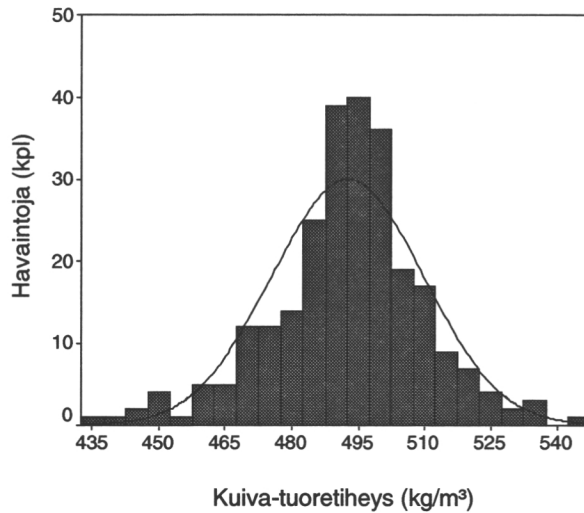
Kuva 7. Koivukuitupuun hankinta-alueet tehtaittain (oik.) ja niitä vastaavat hakkeen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit (vas.).

Taulukko 10. Koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheydet tehtaittain, kg/m³.

	N, kpl	Keskiarvo	Mediaani	Keskihajonta	Keskiarvon keskivirhe	Pienin	Suurin
Kemi	42	481	481	17,5	2,7	437	513
Pietarsaari	49	486	487	10,1	1,4	463	505
Äänekoski	40	494	496	13,3	2,1	441	537
Kuusanniemi¹⁾	48	497	498	15,5	2,2	456	527
Kaukas	40	503	511	24,8	3,9	446	544
Uimaharju¹⁾	40	496	496	8,3	1,3	483	515
Koko aineisto	259	493	493	17,2	1,1	437	544

¹⁾ tuontipuu

kuitupuuaineiston. Vanerihakkeen ja eteläsuomalaisen koivukuitupuuhakkeen keskimääräiset tiheydet olivat samalla tasolla (df = 168, t = 0,569, p = 0,570).



Kuva 8. Koivukuitupuuhakeaineiston jakauma kuiva-tuoretiheyden mukaan.

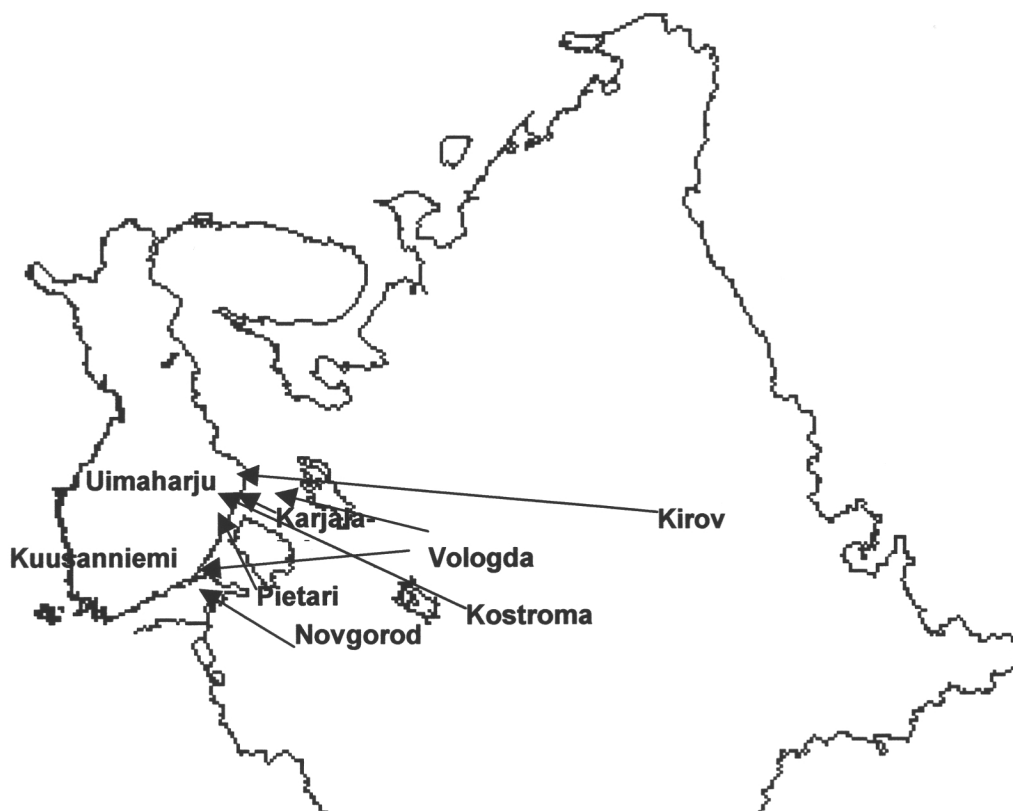
Taulukko 11. Koivuvanerihakkeen ja -kuitupuuhakkeen tiheydet alueittain, kg/m³.

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
Tuontipuu	...	...	...	88	497	12,7
Koko aineisto	41	496	20,6	259	493	17,2

Pohjois-Suomessa (Kemin aineisto) koivukuitupuuhakkeen keskimääräinen tiheys oli 13 kg/m³ Etelä-Suomea alhaisempi (taulukko 11). Ero oli tilastollisesti merkitsevä (df = 169, t = 4,089, p = 0,000). Sen sijaan Uimaharjuun ja Kuusanniemeen toimitetun tuontipuun ja etelä-suomalaisen kuitupuun tiheydet olivat samalla tasolla (df = 215, t = 1,242, p = 0,216). Tuontipuun alkuperä on esitetty kuvan 9 kartassa.

Talvi- ja syksyaineistojen keskimääräiset kuiva-tuoretiheydet olivat samaa suuruusluokkaa alueittaisessa vertailussa (taulukko 12). Pohjois-Suomessa ero oli suurin, syksyaineiston keskimääräinen tiheys oli 8 kg/m³ talviaineistoa suurempi, mutta täälläkään tämä ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Hakkilan (1966) mukaan eteläsuomalaisten koivukuitupuurunkojen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 495 kg/m³ ja järeiden puiden latvakuitupuun tiheys 486 kg/m³ oli hieman alhaisempi kuin tässä tutkimuksessa. Verkasalon (1998) mukaan Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalta kerätyssä aineistossa kuitupuurunkojen käyttöosan keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli kivennäismaiden rauduskoivulla 519 kg/m³, kivennäismaiden hieskoivulla 489



Kuva 9. Uimaharjuun ja Kuusanniemeen toimitetun tuontikoivun alkuperät.

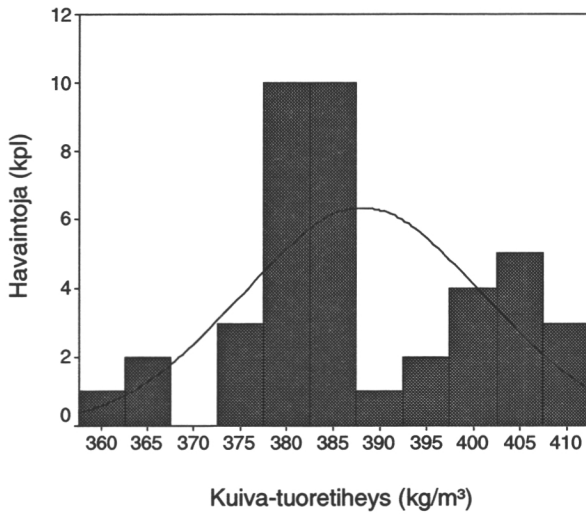
Taulukko 12. Koivukuitupuuhakkeen talvi- ja syksyaineistojen kuiva-tuoretiheydet alueittain, kg/m³.

ALUE	TALVI			SYKSY		
	N	keskiarvo	keskihajonta	N	keskiarvo	keskihajonta
Etelä-Suomi	69	496	17,6	60	492	18,7
Pohjois-Suomi	22	477	12,6	20	485	21,4
Tuontipuu	48	496	13,1	40	497	12,4
Koko aineisto	139	493	16,7	120	492	17,7

kg/m³ ja turvemaiden hieskoivulla 484 kg/m³ eli rauduskoivua lukuun ottamatta samalla tasolla kuin tässä tutkimuksessa Pietarsaassa. Verkasalo (1998) sai Etelä-Suomen istutusrauduskoivun keskimääräiseksi tiheydeksi 455 kg/m³, mikä tulos koskee nuoria pääasiassa 20-40-vuotiaita metsiköitä. Tämän tutkimuksen aineistossa ei sinänsä ollut yhtään tehdasta, joiden aineisto olisi sisältänyt huomattavassa määrin istutuskoivua.

3.4 Haapahake

Haapa-aineistoa kerättiin ainoastaan Äänekosken tehtaalla, yhteensä 41 näytettä. Hakenäytteet kerättiin sekä talvella että syksyllä noin yhden vuorokauden kestäneistä sellutehtaan haapa-



Kuva 10. Haapakuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheyden jakauma (vas.) ja haapakuitupuun hankinta-alue (oik.).

ajoista. Kuva 10 esittää haavan hankinta-aluetta; siitä nähdään myös haapa-aineiston jakauma tiheyden mukaan. Haapahakkeen kuivatuore-tiheyden keskiarvo oli 388 kg/m^3 , mediaani 386 kg/m^3 ja keskihajonta $12,8 \text{ kg/m}^3$. Pienin havainto oli 361 ja suurin 410 kg/m^3 . Talviaineistossa haapahakkeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli 382 kg/m^3 , vastaavasti syksyaineistossa 394 kg/m^3 . Aineistojen keskihajonnat poikkesivat selvästi toisistaan; talviaineistossa keskihajonta oli vain $3,6 \text{ kg/m}^3$, kun se syksyaineistossa oli $15,7 \text{ kg/m}^3$.

Kärki (2000) tutki järeiden, tukkipuukokoisten haapojen keskimääräistä kuiva-tuoretiheyttä ja tiheyden vaihtelua rungon sisällä. Pieni kymmenen runkoa käsittänyt aineisto kerättiin Pyhäselästä Pohjois-Karjalasta. Keskimääräinen tiheys oli 379 kg/m^3 . Kärkkäinen (1985) esitti haavan keskimääräiseksi tiheydeksi 397 kg/m^3 ; aineisto käsitti 197 keskipituudeltaan 16 metristä koepuuta.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET, SUOSITUKSET JA KUITUPUU- JA TEOLLISUUSHAKKEEN VERTAILU

Kuitupuuhakkeen tiheys –hankkeen aineiston ensimmäinen osa, ns. talviaineisto kerättiin kokonaisuudessaan kevättalven 2000 aikana. Aineiston toinen osa, ns. syksyaineisto kerättiin syys-marraskuussa 2000. Aineiston hankinnassa kyettiin toteuttamaan tutkimussuunnitelmaa näytteiden oton, näytteiden alkuperän selvittämisen ja laboratoriotöiden suhteen. Aineistoa täydennettiin suunnitelmasta poiketen Pohjois-Suomen sellukuusinäytteillä. Lisäksi mukaan otettiin tuontikoivu omana kokonaisuutenaan. Pääsääntöisesti päästiin tavoitenäytemäärään, 20 näytettä / tehdas / puutavaralaji.

Männyn hankinta-alueet kattoivat maan eri osat melko hyvin ja siten, että eri tehtaiden hankinta-alueet olivat erotettavissa toisistaan. Samoin kuin sahanhakkeella, kuitupuuhakkeen alhaisimmat kuiva-tuoretiheydet mitattiin Pohjois-Suomen näytteistä. Ero Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä ei ollut kuitenkaan kuitupuuhakkeella yhtä suuri kuin sahanhakkeella. Etelä-Suomen sisällä tiheuserot olivat hyvin vähäisiä. Odotetusti ensiharvennuskäynnin keskimääräinen tiheys oli alhaisempi kuin normaalikäynnin. Ero oli kuitenkin verraten pieni verrattuna pystypuiden systemaattisista kiekkonäytemittauksista saatuihin tuloksiin. Tämä saattaa johtua nykyisillä korjuumenetelmillä verraten myöhään tehtävistä ensiharvennuksista ja ajourapuiden mukaantulosta kuitupuukertymään alaharvennettavien puiden lisäksi, jolloin ensiharvennusleimikoista todellisuudessa tehtaalle tuleva puu on järeämpää kuin mitä voidaan päätellä ensiharvennuskäynnin puuston keskimääräisistä ominaisuuksista. Hakkilan (1995, 2000) tutkimuksissa tämä järeysero oli noin 2 cm. Keskihajonnat ensiharvennuskäynnin aineistossa olivat oletusten mukaisesti pienempiä kuin normaalikäynnin aineistossa. Ensiharvennuskäynti oli tiheyden suhteen normaalikäyntiä tasalaatuisempaa. Tämä johtuu ensiharvennuskuitupuun saannista ainoastaan rungon tyvi- ja välisosista, kun taas normaali lajittelematon käyntikuitupuun sisältää puutavaraa kaikista rungonosista.

Kuusella vahvistui käsitys keskimääräisen kuiva-tuoretiheyden tason samankaltaisuudesta Etelä-Suomen tehtailla; sen sijaan tiheystaso oli Pohjois-Suomessa tätä korkeampi. Pieni ongelma kuusiaineiston analysoinnissa oli tuontipuun, jota ei aina pystytty erottamaan omaksi tavaralajikseen, eikä selvittämään sen alkuperää. Joka tapauksessa tuontipuuhakkeen ja eteläsuomalaisen kuusikuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheydet olivat samalla tasolla. Eroa ei ollut myöskään eteläsuomalaisen hiomo- ja sellukuitupuun keskimääräisten tiheyksien välillä,

vaikka hiomokuusi tulee rungon kaikista terveistä osista ja sellukuusi sisältää myös lahoja rungonosia ja pieneltä osin pystykuivaa puuta. Sahanhakkeella keskimääräinen tiheystaso oli kuusella männyn tavoin korkeampi kuin kuitupuuhakkeella.

Koivuaineistossa pystyttiin selvästi erottamaan 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 kotimaisen koivukuitupuun ja tuontipuun hakkeen välillä ei ollut eroa tiheydessä. Eroa ei havaittu myöskään verrattaessa tämän tutkimuksen kuitupuuaaineistoa aiemmin kerättyyn koivuvaneri-hakeaineistoon. Tämä johtuu osin siitä, että vanerihake sisältää noin 40 % raaka-aineeltaan kuitupuuhun rinnastettavia vaneritukkien sydänosia. Osaltaan tuloksiin vaikuttavat hies- ja rauduskoivun toisistaan poikkeavat määräsuhteet eri tehtailta (Pohjois- ja Länsi-Suomessa lähes pelkästään hieskoivua, Itä-Suomessa sekä raudus- että hieskoivua). Kuusanniemen tuontikoivunäytteissä havaittiin hieman lahoa, mikä saattoi alentaa lievästi tiheystasoa.

Talvi- ja syksyaineistojen välillä ei millään puulajilla ilmennyt yhdensuuntaista eroa tiheystasossa. Männyllä ero oli tilastollisesti merkitsevä verrattaessa talvi- ja syksyaineistoja kokonaisuudessaan toisiinsa. Ero oli kuitenkin hyvin vähäinen ja toisaalta tehtaitaisessa ja alueellisessa vertailussa aineistojen väliset tiheyserot olivat erisuuntaisia. Kuusella ja koivulla talvi- ja syksyaineistot olivat hyvin samankaltaisia eikä tilastollisesti merkitseviä eroja havaittu. Käytettävissä olevien aineistojen perusteella voidaan siis päätellä, että teollisessa mittakaavassa käytetyn raaka-aineen tiheydessä ei ole eroa korjuuajankohdan suhteen. On kuitenkin huomattava poikkeukselliset korjuuolosuhteet talvella 2000, jolloin ilmeisen suuri osa huonosti kantavien maiden ns. talvileimikoista jäi hakkaamatta ja aineistosta todennäköisesti vastasi tavallista enemmän tyypillisiä kesäkorjuuleimikoita.

Käytännön tehdaskokemuksissa kuten myös aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että kuitupuusta tehdyllä hakkeella on suurempi tiheyden hajonta kuin teollisuushakkeella. Kuitupuuhaketta koskeneet tiedot on saatu kiekkonäytemittauksin mutta teollisuushaketta koskeneet tiedot hakeanalyysin. Oli siis oletusten vastaista, että tiheyshavaintojen keskihajonnat olivat tämän tutkimuksen aineistossa kaikilla puulajeilla selvästi pienempiä kuin teollisuushaketutkimuksen aineistossa. Selitys tulokseen voi olla tiheysvaihtelun tasaantuminen suurista puumääristä tehdystä hakkeesta otettuja näytteitä tarkasteltaessa. Tehdaskokemusten mukaan suu-

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

PUULAJI / ALUE	SAHANHAKE / VANERIIHAKE			KUITUPUUHAKKE		
	kuiva-tuoretiheys, kg/m ³	muuntok. (kuoreton) m ³ /ka-tn	muuntok. (kuorellinen) m ³ /ka-tn	kuiva-tuoretiheys, kg/m ³	muuntok. (kuoreton) m ³ /ka-tn	Muuntok. (kuorellinen) m ³ /ka-tn
Mänty E-S	435	2,30	2,61	409	2,45	2,78
Mänty P-S	407	2,46	2,79	395	2,53	2,88
Kuusi E-S	404	2,48	2,81	393	2,55	2,89
Koivu E-S	496	2,02	2,29	494	2,03	2,30

Taulukko 14. Kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheyksiä ja muuntokertoimia alueittain kuitupuutavaralajeista, joiden aineisto ei ole kattava yleisen suosituksen esittämiseksi. Kuorellisia muuntokertoimia laskettaessa on käytetty kuusella ja pohjoissuomalaisella koivulla taulukon 15 mukaisia kuoriprosentteja, muilla kuitupuutavaralajeilla kuoriprosentti on 12.

PUULAJI / ALUE	KUIVA-TUORETIHEYS kg/m ³	MUUNTOKERROIN (kuoreton) m ³ /ka-tn	MUUNTOKERROIN (kuorellinen) m ³ /ka-tn
Ensiharvennusmänty E-S	404	2,48	2,81
Kuusi P-S	408	2,45	2,88
Koivu P-S	481	2,08	2,48
Tuontikoivu	497	2,01	2,29
Haapa E-S	388	2,58	2,93

ria tehdasmittakaavan puueriä verrattaessa kuitupuuhakkeella päästiin huomattavasti pienemmällä näytemäärillä samoihin keskiarvon tarkkuuksiin kuin sahan- ja vanerihakkeella. Aineiston näytemääriä voidaan pitää riittävinä tarpeellisen tulostarkkuuden saavuttamiseksi.

Kuiva-tuoretiheydet määritettiin hakenäytteistä SCAN-CM 43:95 -standardin mukaisesti. Toistetuissa kuiva-tuoretiheyden määrittämissä tulosten välinen ero on ollut tavallisesti korkeintaan 3 kg/m³. 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 määrittäystä voidaan pitää perusteltuna; jokainen yksittäinen hakenäyte sisälsi puuainetta useista eri pölkkyistä ja rungoista, mahdollisesti jopa eri leimikoista. Tämä pienensi tiheyshavaintojen vaihteluväliä ja täten myös keskiarvojen keskivirheitä.

Taulukko 15. Kuitupuun ja tukin tilavuuskuoriprosentit Etelä- ja Pohjois-Suomessa puula-jeittain (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	...

Taulukossa 13 on esitetty teollisuushakkeelle tätä edeltäneessä tutkimuksessa ja tässä tutki-muksessa kuitupuuhakkeelle suositellut kuiva-tuoretiheydet ja muuntokertoimet. Männyllä ja kuusella kuoreton kiintokuutiometri sahanhaketta sisältää suuremman määrän hyödynnettävää kuiva-ainetta kuin kuitupuuhake, ero oli männyllä koko aineistoissa 5,9 % ja kuusella Etelä-Suomessa 2,8 %. Koivulla vanerihakkeen ja kuitupuuhakkeen välillä ei ole tässä suhteessa eroa. Taulukossa 14 on esitetty kuiva-tuoretiheyksiä ja muuntokertoimia kuitupuutavarala-jeille, joiden aineistoa ei voida pitää kattavana yleisten suositusten esittämiseksi. Haluttaessa tarkentaa (taulukot 13 ja 14) kuorellisia muuntokertoimia on syytä käyttää taulukossa 15 esi-tettyjä puulajeittaisia ja alueellisia kuoriprosentteja.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella hakkuuajankohdan merkitys (talvi, syksy) teollisuu-den käyttämän kuitupuun tiheyteen jäi epävarmaksi. Puulajien alueelliset tiheystasot pystyttiin selvittämään riittävän tarkasti kohtuullisen pienten keskihajontojen perusteella. Joidenkin kuitupuutavaralajien kohdalla lisäselvitykset voidaan katsoa tarpeellisiksi pieniksi jääneiden tavaralajikohtaisten näytemäärien vuoksi.

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 maatieteellinen vaihtelu Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66(8):1–60.
- 2000. Kuitupuun laadun vaihtelu ja lajitteluperusteet. Harvennuspuun jalostusketju, Metsätehon seminaari. Tikkurila 8.–9.2.2000.
- , Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energia- lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s.+ liitteet 6 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.
- Kärki, T. 2000. Variation of wood density and shrinkage on European aspen (*Populus tremula*). Munich 2000. Holz als Roh- und Werkstoff. Painossa. 11 s.
- Kärkkäinen, M. 1985. Puutiede. Sallisen kustannus Oy. 415 s.
- Lindblad, J. & Verkasalo, E. 1999. Teollisuushakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 747. 48 s. + liitteet 9 s.
- & –. 2000. Kuitupuuhakkeen tiheys. Yhteistutkimushankkeen väliraportti. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema. 15 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.
- Verkasalo, E. 1998. Raudus- ja hieskoivun laatu puuaineen tiheyden perusteella arvioituna. s. 127–140. Julkaisussa: Niemistö, P. ja Väärä, T (toim.). 1998. Rauduskoivu tänään–ja tulevaisuudessa. Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 668.

5 Laitteet

5.1 *Alumiinifolioastia* hakkeen punnitsemiseksi.

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

5.3 *Liutusastia*, 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 rumpun 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 rumpun kehällä vapaan pudotuksen kiihtyvyyden (g) kerrannaisena ilmaistuna;

r on rumpun säde, metrejä.

5.5 *Inertistä materiaalista valmistettu lieriö*, joka asetetaan sentrifugirumpun keskelle silloin, kun rumpua täytetään hakkeella. Lieriön tehtävänä on ohjata hake lähelle rumpun 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 ± 2)°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.

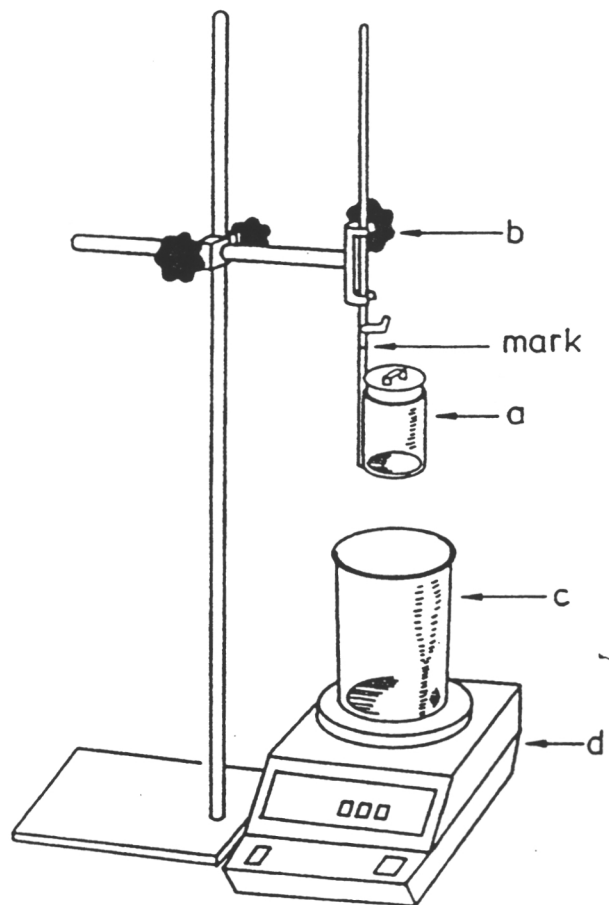
Valmistele näyte seuraavalla tavalla: Seulo 8 – 10 l:n suuruisen hakenäyte standardissa SCAN-CM 40 kuva-

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 hakepalasiin sisällä huokosissa olevan veden korvautumisen ilmalla. Tietyille 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 näytekoria varmistaaksesi, 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.

Tutkimusselostuksessa 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 laboratorioissa seuraavin 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

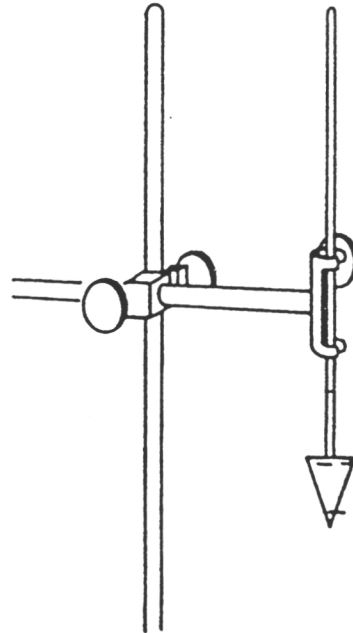
Grundelius, R.: Determining the basic density of wood chips. Tappi Journal 73:4, 183 – 189 (1990).

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 menettely, 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.

Varttunutta kasvatusmännikköä Kuusamossa.

Kuva: Jari Lindblad

Oik. ylh.

Kuitupuun lähikuljetus ja metsävarastointi Mikkelissä.

Kuva: Jani Lehtimäki

Vas. alh.

Kuitupuun kuorinta rumpukuorimossa.

Kuva: Hannu Kalaja

Oik. alh.

Kuitupuunauton lastaus Hyvinkäällä.

Kuva: Erkki Oksanen

Kesk.

Seulottua kuitupuuhaketta massatehtaalla.

Kuva: Jari Lindblad