

## KOKOPUUHAKKEEN TIHEYDEN MITTAAMINEN

MATTI KÄRKKÄINEN

## SUMMARY:

## MEASUREMENT OF BASIC DENSITY OF TOTAL TREE CHIPS

Saapunut toimitukselle 1976-07-15

Tutkimuksessa tarkastellaan lähinnä hakkeen tiheyden mittaamiseen tarkoitettua tilavuuden määrittämismenetelmää, jota käyttäen mahdollisten ilmakuplien vaikutus voidaan eliminoida. Menetelmässä mitattavat hakepalaset ovat reiällisessä säiliössä. Tämän säiliön paino punnitaan kahdella korkeudella vesisylinterissä ja lisäksi ilmassa. Kun paine on alhaisempi sylinterin yläkuin alaosassa, mahdollisten ilmakuplien vaikutus voidaan eliminoida laskennallisesti.

Menetelmä on teknisesti käyttökelpoinen, mutta soveltuu huonosti hakkeen pienimmille jakeille. Näyttää mahdolliselta, että palakoon ollessa pieni tiheys saadaan liian alhaiseksi rakenne särkyemisestä johtuvan turpoamisen tai palasia ympäröivän liiallisen veden vuoksi.

Kuiva-tuoretiheyttä koskevia tuloksia esitetään männystä, koivusta ja harmaalepistä tehdystä kokopuuhakkeesta sekä kuusenneulasista.

## 1. JOHDANTO

Viime vuosikymmeninä on yleisin Suomessa käytetty puunkorjuumenetelmä ollut tavaralajimenetelmä. Järeiden runkojen alaosa on tehty saha- ja vaneriteollisuuden käyttämiksi tukeiksi. Pienet rungot, järeiden runkojen latvaosat sekä huonolaatuinen puu on ohjattu tavallisesti lyhyeksi kuitupuuksi valmistettuna massa- ja levyteollisuuden käyttöön. Kanto- ja juuripuu sekä oksat ja neulas (tai lehdet) ovat jääneet hakkuutähteiksi.

Tällaista tavaralajimenetelmää käytettäessä on puuaineen ominaisuuksia tutkittaessa ollut paikallaan tarkastella rungon piteuden suuntaista vaihtelua, koska rungon eri osat ovat usein ohjautuneet eri tarkoituksiin. Tämän lisäksi on jouduttu tarkastelemaan

runkojen välistä vaihtelua saman metsikön sisällä, eri kasvupaikkojen ja ikäluokkien välillä jne. Näissä oloissa on ollut luonnollista, että tutkimusten näyteyksikkönä on ollut runko tai sen suurehko osa, kuten tukki tai kuitupuupölkky. Rungon piteuden suuntainen vaihtelu on voitu ottaa huomioon esim. erottamalla tyvi-, väli- ja latvatukit.

Siirryttäessä tavaralajimenetelmästä kokopuuhakkeeseen puun eri osat erottaneesta puuaineen ominaisuuksien tutkimisesta on suuri hyöty. Ennakolta voidaan arvioida, mihin suuntaan raaka-aineeksi käytetyn hakkeen ominaisuudet muuttuvat, kun perinteellisen runkopuun lisäksi hakkeeseen sisältyvät myös pienikokoisten runkojen puuaine, latvukset, oksat ja erityisesti kuori.

Voidaan esimerkiksi arvioida, minkä verran kokopuuhakkeen ominaisuudet muuttuvat, jos hakkurin eteen asennetaan ohuimpia oksia poistavat lisälaitteet.

Edellä kuvatulla menetelmällä voidaan saada kuitenkin vain suuntaa antavia tuloksia, koska kokopuuhakkeen ominaisuudet ovat vain karkeasti rungon eri osien puuaineen ominaisuuksien summa. Tämä johtuu siitä, että puunkorjuun eri työvaiheissa ennen haketusta tietyt puun osat joutuvat muita osia herkemmin hakkuutähteiksi. Esim. kuivat oksat karisevat helposti kuljetuksessa, puiden syötössä hakkuriin jne. Lisäksi puun eri osat käyttäytyvät haketuksessa eri tavalla, jolloin seulottaessa jätteiden joukkoon joutuu tiettyjä puun osia muita osia runsaammin. Tämän vuoksi tarvitaan myös sellaisia menetelmiä, joilla voidaan tarkastella teknisen kokopuuhakkeen ominaisuuksia.

Kokopuuhakkeen puuaineen ominaisuuksia tutkittaessa ei enää ole mahdollista erottaa runkojen sisäistä ja runkojen välistä varianssia puuaineen ominaisuuksissa. Toisaalta kokopuuhakkeen (kuten yleensä hakkeen) valmistaminen antaa hyvän mahdollisuuden puuaineen homogenisointiin (NISULA 1967, s. 16). On perusteltua olettaa, että huolellisesti sekoitetusta kokopuuhakkeesta jatkuvasti otetut verraten pienet näytteet antavat puuaineen ominaisuuksista likimain saman tuloksen. Luultavaa on, että samaan tarkkuuteen pyrittäessä päästään pienemmällä otoksen koolla kuin perinteellisessä kiekkoihin ym. perustuvassa tutkimuksessa. Esim. NISULA (1961, s. 8) totesi kosteussuhteen variaatiokertoimeksi kiekkoissa 31,7 % ja hakkeessa 11,7 %. Vastaavat variaatiokertoimet kuiva-ainepitoisuudessa olivat 9,5 % ja 3,6 %. Tiheydestä ei ole esitetty tuloksia, mutta oletettavasti vaihtelu pienee samalla tavalla. — Edellä esitetyt variaatiokertoimet on saatu tutkittaessa näyteyksiköiden välistä vaihtelua. Näyteyksikkönä oli kiekko tai noin kourallinen haketta.

Kokopuuhakkeuksen mahdollistamalla homogenisoinnilla voidaan näin ollen päästä edulliseen otantaan puuaineen ominaisuuksia

tutkittaessa. Suhteellisen pienellä näytemäärällä voidaan selvittää, millainen on puuaineen laatu kussakin työkohteessa, esim. metsikössä. — Mainittakoon vielä, että kokopuuhakkeen valmistaminen tarjoaa myös näytteenoton automatisointiin hyviä mahdollisuuksia. Hakevirrasta voidaan esim. määrääjain ottaa haketta säiliöön. Huolellisen sekoittamisen jälkeen tästä säiliöstä voidaan pienehköllä näytteellä selvittää keskimääräiset puuaineen ominaisuudet. Teknisesti ratkaisu saattaa kuitenkin olla vaikea (NISULA 1961, s. 26), joskin toimivia ratkaisuja on esitetty (ks. esim. NISULA 1960, s. 9).

Kuten edellä on todettu, kokopuuhakkeen ollessa kyseessä ei enää voida erottaa runkojen sisäistä ja runkojen välistä varianssia. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että näyteyksikkönä joudutaan käyttämään hakepalasta tai hakepalasten muodostamaa joukkoa. Kun kyse on hakepalasten muodostamasta joukosta, voidaan puhua *kollektiivisestä tiheyden määrittämisestä* erotukseksi yksittäisten hakepalasten tiheyden määrittämisestä.

Hakepopulaatiota voidaan tarvittaessa jaotella osiin, tavallisesti erilaisin seuloin. Rakoseulalla hakepalaset voidaan jaotella niiden paksuuden mukaan. Reikäseulalla hakepalaset tulevat jaotelluksi niiden suurimman dimension (pituuden) mukaan.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan eri puulajeista tehtyä seulottua kokopuuhaketta aineistona käyttäen, millaisia mahdollisuuksia on puuaineen tiheyden selvittämiseen kokopuuhakkeesta. Puuaineen kuiva-tuoretiheys on valittu tarkastelluksi puuaineen ominaisuudeksi siksi, että se on tärkeimpiä puuainetta luonnehtivia tunnuksia ja myös siksi, että sen mittaaminen tuottaa kokopuuhakkeesta suurempia vaikeuksia kuin esim. kosteuden määrittäminen.

Tutkimuksen eri vaiheissa ovat avustaneet Tarja Björklund (laskenta ja piirros), Marjo Nordberg (mittaus), Aune Rytönen (konekirjoitus), Kari Sauvala (laitteisto) ja Matti Valli (mittaus). Käsikirjoituksen ovat lukeneet Veijo Heiskanen, Juhani Salmi ja Olli Uusvaara. — Kiitän tuesta.

## 2. HAKEPALASTEN UPOTUSMENETELMÄ

Käytettäessä tavaralajimenetelmää puun- korjuuseen laboratoriossa määritetään puu- aineen tiheys tavallisesti sopivan kokoisista, rung- on eri osista otetuista puunäytteistä. Metsäntutkimuslaitoksella ja monessa muus- sa tutkimuslaitoksessa tiheyden tunnuksena on käytetty tavallisesti kuiva-tuoretiheyttä (massa mitataan kuivana ja tilavuus tuo- reena). Näytteiden tilavuus voidaan sel- vittää nopeasti ja yksinkertaisesti upotta- malla näytteet veteen ja mittaamalla noste (esim. OLESEN 1971) joko suoraan pitämällä vesiasiaa vaa'alla tai epäsuorasti punnit- semalla näyte vedessä ja ilmassa. — Kuiva massa mitataan taas punnitsemalla.

Kokopuuhakkeen ominaisuuksia tutkit- taessa voidaan käyttää periaatteessa saman- laisia, hakepalasiin kohdistuvia menetelmiä. Esimerkiksi EDBERG ym. (1973) mittasivat tiheyttä hakepaloin. Tämä ei kuiten- kaan ole yleensä tarpeellista, koska tiedossa ei kuitenkaan ole, mistä rungosta tai rung- on osasta hakepalaset ovat peräisin. Helpompi on käyttää sellaisia puuaineen tiheyden mää- rittämismenetelmiä, jotka sallivat tiheyden mittaamisen useiden hakepalasten muodos- tamasta joukosta (em. kollektiivinen määri- tys). Peräkkäisten mittausten hajonnasta voidaan päätellä keskiarvotietojen luotetta- vuus.

Hakkeen puuaineen kuiva-tuoretiheyden pyrittäessä ongelmana on hakepalasten tila- vuuden selvittäminen. Yksi käyttökelpoi- nen mahdollisuus on sulkea hakepalaset verk- kopussiin tai reiälliseen astiaan ja määrittää hakepalasten tilavuus tavallista veteenupotusmenetelmää käyttäen. Saatavat tulokset eivät kuitenkaan liene yhtä luotettavia kuin upotettaessa yksittäinen puunäyte ilman verkkopussia tai reiällistä astiaa veteen. Hakkeen pinta-ala on suuri suhteessa tila- vuuteen, ja tämän vuoksi mm. ilmakuplat voivat aiheuttaa epätarkkuutta tilavuuden määrittämisessä. Ilmakuplien pysymistä hake- palasten pinnalla edistää myös hakkeen rosainen pinta. Sitä paitsi ilmakuplia voi jäädä myös verkkopussin silmukoihin tai reiällisen astian sopukoihin. — Ainakin NISULA (1968, s. 17) on havainnut tällaisen virhelähteen. Elohopeaa väliaineena käyttä- nyt HAKKILA (1966, s. 27) mainitsee ilmakup- lien mahdollisen vaikutuksen myös kairan-

lastuja mitattaessa. Samoin ksylometrimene- telmässä ilmakuplien mahdollisesta vaiku- tuksesta on huomautettu (ISOMÄKI 1966, s. 9).

Ilmakuplien vaikutus voidaan kuitenkin ottaa huomioon. — Tunnetusti voidaan vakio- lämpötilassa olevaan ilmaan soveltaa kaavan (1) ilmaisemaa lakia.

$$(1) \quad \begin{aligned} p_1 V_1 &= p_2 V_2, \text{ jossa} \\ p_1, p_2 &= \text{paine} \\ V_1, V_2 &= \text{tilavuus} \end{aligned}$$

Kaasujen tilayhtälöä voidaan soveltaa sit- ten, että haketta sisältävä säiliö punnitaan vettä sisältävässä sylinterissä kahdella eri korkeudella. Tällöin ilmakuplaan kohdis- tuu erilainen paine riippuen siitä, mitataan- ko hakkeen tilavuus sylinterin ylä- vai ala- osassa.

Jäljempänä paineeseen ja tilavuuteen lii- tetty alaindeksi 1 tarkoittaa sylinterin ylä- osassa vallitsevia olosuhteita ja alaindeksi 2 sylinterin alaosassa vallitsevia olosuhteita. Kun hakkeen tilavuudeksi saadaan suurempi arvo sylinterin yläosassa kuin alaosassa, ero johtuu paineen aiheuttamasta ilmakup- lan pienenemisestä. Merkitään tätä ilma- kuplan pienenemistä kirjaimella  $a$ , ts.  $V_1 - V_2 = a$ . Tällöin  $V_1 = V_2 + a$ . Vastaavasti voidaan merkitä sylinterin ala- ja yläosan välillä vallitsevaa paine-eroa kirjaimella  $b$ , ts.  $p_2 - p_1 = b$ . Tällöin  $p_1 = p_2 - b$ .

Kun edellä kuvatut yhteydet otetaan kaa- vassa (1) huomioon,  $V_1$  ja  $V_2$  voidaan ilmai- ta sylinterin alaosassa vallitsevan paineen  $p_2$  sekä mitattujen tunnusten  $a$  ja  $b$  avulla. Saadaan seuraavat tulokset:

$$(2) \quad V_1 = \frac{p_2 a}{b}$$

$$(3) \quad V_2 = \frac{p_2 a}{b} - a$$

Sanoin ilmaisten ilmakuplan suuruus sy- linterin yläosassa saadaan kertomalla mitattu tilavuusero  $a$  suhteella, jonka osoittajana on absoluuttinen paine sylinterin alaosassa ja nimittäjänä paine-ero. Kun ilmakuplan suu- ruus näin ollen tunnetaan, vastaava korjaus voidaan tehdä mitattuihin tilavuusarvoihin.

Selvää on, että ilmakuplan aiheuttama noste merkitsee tilavuuden pienentämistä termin  $V_1$  verran. Vastaavasti ilmakuplan vaikutus sylinterin alaosassa on  $V_1 - a$ .

Esimerkiksi kun haketta mitataan nor- maali-ilmanpaineessa sylinterissä, jossa alem- pi mittauskohda on 90 cm syvyydessä ja ylempi 4 cm syvyydessä veden pinnasta, kerroin  $\frac{p_2}{b}$  saa arvon 13,07. Toisin sanoen kertomalla sylinterin alaosan ja yläosan välillä havaittu ero hakkeen tilavuudessa luvulla 13,07 saadaan ilmakuplan tilavuus sylinterin yläosassa. — Tällaista mitta- usjärjestelyä on sovellettu Metsäntutkimus- laitoksella.

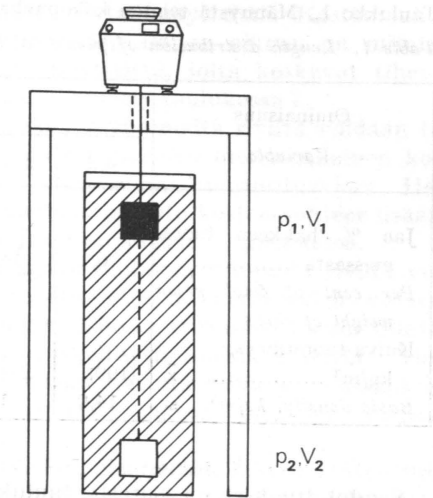
Käytännössä mittaustilanne on monimut- kaisempi kuin edellä on esitetty. — Ensinnäkin ilmakuplan käsite on jossakin määrin epämääräinen. Mikäli hakepalaset eivät ole vedellä kyllästettyjä, osa kokoonpuristu- vasta ilmasta sijaitsee puun solukoissa ja tu- lee tarpeettomasti otetuksi huomioon. Tä- män vuoksi on oleellista, että hakepalaset ovat riittävästi vedellä kyllästettyjä. Toi- saalta periaatteessa pitäisi ottaa huomioon myös solun seinämän kokoonpuristuvuus paineen lisääntyessä, erityisesti silloin, kun solukko ei ole kyllästynyt vedellä. Käytän- nössä tämän termin suuruus on kuitenkin mitätön verrattuna ilmakuplien vaikutuk- seen.

Mainittakoon vielä, että puusolukon kylläs- tämistä vedellä voidaan nopeuttaa vähäisel- läkin paineen lisäämisellä. Sopiva keino on esim. sijoittaa mitattavat näytteet kor- kean vesiasian pohjalle, jolloin astian kor- keudesta johtuva hydrostaattinen paine huomattavasti nopeuttaa veden imeytymistä.

## 3. TULOKSIA HAKKEEN TIHEYDEN KOLLEKTIIVISESTA MÄÄRITTÄMISESTÄ

### 31. Männystä tehty kokopuuhake

Tammikuussa 1976 hakettiin pieniko- ista mäntypuustoa Länsi-Suomessa Tre- lan-hakkurilla. Aineiston kokonaismäärä on useita satoja puita, jotka on siis hakettu oksineen ja kuorimatta. Hakkeesta otettiin systemaattisesti näytteitä, joista huolellisen sekoittamisen jälkeen otettiin pienemmät näytteet laboratorioskäsitelyä varten.



Kuva 1. Kollektiivisessä hakkeen tilavuuden mää- rityksessä hake on reiällisessä säiliössä, jonka massa mitataan kahdella korkeudella vedessä ja lisäksi ilmassa.

Fig. 1. In the collective method of the measurement of the basic density of chips the volume of chips is determined by weighing in a water cylinder at two levels, and in the air.

Käytännössä on käsillä olevaa tutkimusta tehtäessä osoittautunut, että mitattaessa vedellä likimain kyllästettyjen näytteiden tilavuutta ilmakuplien vaikutus on yleensä vähäinen. Tilanne saattaa olla toinen, jos hake on kuivaa ja kenties käsitelty vettä hylkivillä aineilla (esim. NYLINDER 1958, NEUSSER ym. 1971, s. 82).

Laboratoriossa kokopuuhake seulottiin ta- valliseen tapaan Williams-seulalla ja määri- tettiin jakeiden osuus kokonaispainosta tuo- reena. Lisäksi kustakin seulontajakeesta määritettiin kuiva-tuoretiheys aiemmin esi- tetyllä tavalla. Kaikkiaan mitattiin 28 näytteen tiheys näytteen kuivan massan ollessa keskimäärin vain 84 g. Tämä vastaa NISULAN (1961, s. 17) tutkimuksen »kou- rallista».

Taulukko 1. Männystä tehdyn kokopuuhakkeen pituusjakauma ja jakeiden kuiva-tuoretiheys.

Table 1. Length distribution of pine total tree chips and basic density of the fractions.

Ominaisuus Variable	Jakeen pituus, mm — Length of fraction, mm							
	<3	3..6	7..13	14..16	17..19	20..25	26..32	32<
Jae % hakkeen tuore- massasta ..... Per cent of total green weight of chips	6,1	18,2	38,4	15,8	11,2	7,7	1,6	1,0
Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> ..... $\bar{x}$	(199)	294	345	352	356	350	378	388
Basic density, kg/m <sup>3</sup> s	14,9	1,5	28,6	6,5	13,5	9,9	..	..

Saadut tulokset on esitetty taulukossa 1. Voidaan ensinnäkin havaita, että tässä tapauksessa kokopuuhakkeeseen kuului runsaasti lyhyitä jakeita. Kun esimerkiksi UUSVAARAN (1972, s. 40) paperipuuhaketta ja sahanhaketta koskevassa tutkimuksessa alle 6 mm fraktioiden osuus oli vuodenajasta ja haketyypistä riippuen 3,4...5,0 %, seulomattomassa kokopuuhakkeessa vastaavan fraktion osuus oli 24,3 %. — Pienimpien fraktioiden osuutta voi pitää suurena.

Mielenkiintoisin tulos koskee kuiva-tuoretiheyttä. Kuten taulukosta 1 ilmenee, lyhimmät fraktiot ovat erittäin kevyitä. Alle 3 mm fraktion kuiva-tuoretiheydeksi on saatu ainoastaan 199 kg/m<sup>3</sup>. Tämä on n. puolet tavanomaisen selluloosahakkeen tiheydestä. Myös jae 3..6 mm on kevyttä, tässä esimerkkitapauksessa 294 kg/m<sup>3</sup>.

Kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeama vaihtelee huomattavasti jakeesta toiseen mittausten vähäisen lukumäärän vuoksi (n = 28). Jos oletetaan, että standardipoikkeama on n. 15 kg/m<sup>3</sup> mitattaessa hakenäytteitä, joiden kuiva massa on alle 100 g kussakin määrittämisessä, vain 10 määrittämyksen avulla kunkin jakeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys voidaan selvittää 10 kg/m<sup>3</sup> tarkkuudella (p = 0,05). Kun näytteen kuiva kokonaisuudessa on tällöin alle 1 kg jaetta kohti, tulosta voi pitää tyydyttävänä.

Vertailuna standardipoikkeaman suuruudesta mainittakoon, että NYLINDER (1958) sai haketutkimuksessaan kuivatihyden standardipoikkeamaksi 4,0...20,5 kg/m<sup>3</sup> puulajista ja tapauksesta riippuen. Tällöin hak-

keen mittauksessa käytettiin puolentoista litran säiliötä. UUSVAARA (1969, s. 33) sai puolestaan eteläsuomalaisesta männystä tehdyn sahanhakkeen kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeamaksi 11,8 kg/m<sup>3</sup>. Keski- ja Pohjois-Suomessa vastaavat luvut olivat 10,4...61,5 kg/m<sup>3</sup> tehtaasta riippuen (UUSVAARA 1972, s. 29). Tällöin kerralla mitattu hakemäärä lienee ollut 1 litra (UUSVAARA 1972, s. 8). — Kuivatihyteen pyrkiessään NYLINDER mittasi ensin massan ilmassa ja sen jälkeen vedessä. Kuiva-tuoretiheyteen pyrkinyt UUSVAARA taas punnitsi näytteen ensin vedessä ja sitten ilmassa.

Kuinka saatu tulos, jonka mukaan pienimmän fraktion kuiva-tuoretiheys saattaa olla jopa alle 200 kg/m<sup>3</sup>, sitten pitää tulkita?

On luonnollista olettaa, että pienimpien fraktioiden alhainen kuiva-tuoretiheys johtuu näiden jakeiden korkeasta kuoripitoisuudesta. Kuori on nimittäin puuainetta heikompaa mekaanisesti, ja se rikkoutuu puuainetta helpommin pieniksi murusiksi (ALES-TALO 1976, ERICSON 1976).

Toisaalta etenkin pienimmän fraktion alhainen tiheys ihmetyttää, sillä se on kovin alhainen verrattuna esimerkiksi sahatukkien kuoren tiheyteen (KÄRKKÄINEN 1976). Ainoastaan siinä tapauksessa, että pienimmässä fraktiossa on erityisen runsaasti sisäkuorta, saadut tiheysarvot vaikuttavat uskottavilta. Esim. LAMB ja MARDEN (1968) mittasivat parin amerikkalaisen mäntylajin sekundaarisen nilan kuiva-tuoretiheydeksi ainoastaan 148 ja 154 kg/m<sup>3</sup>. Kun kokopuu-hake tässä esimerkkitapauksessa tehtiin nuorista puista, joissa kaarnan muodostusta ei

vielä ollut, alhainen pienimmän fraktion tiheys vaikuttaa mahdolliselta, mutta ei todennäköiseltä. Eräisiin tulkintakysymyksiin on näin ollen kiinnitettävä huomiota.

Eräs mahdollisuus lähestyä tätä alhaisen tiheyden ongelmaa on seuraava. — Mitattaessa ehyiden puukappaleiden tilavuutta vedessä upotusmenetelmällä yleensä oletetaan, että puun syiden kyllästymispisteen yläpuolella turpoamista ei enää oleellisesti tapahdu. Näin ollen likimain samanlaisiin tilavuustuloksiin päädytään mitattaessa luonnontilaisia näytekappaleita ja sellaisia kappaleita, jotka ovat lionneet vedessä esimerkiksi useita vuorokausia ja tällöin likimain kylästyneet vedellä.

On kuitenkin mahdollista, etteivät pienet hakepalaset käyttäydy samalla tavalla kuin ehyet puukappaleet. Voidaan myös olettaa, että käyttäytyminen poikkeaa ehyistä puukappaleista sitä enemmän, mitä pienemmästä fraktiosta on kyse.

Taulukossa 2 on tarkasteltu, millaisia kosteussuhteita on määritetty luonnontilaisista näytteistä ja toisaalta sellaisista näytteistä, joita on liotettu 3 vuorokautta vedessä riittävän kyllästymisasteen saavuttamiseksi. Taulukossa 2 esitetty luonnontilainen kosteus

on mitattu vertailunäytteistä. Kosteussuhde tiheyden määrittämisen aikaan on mitattu samoista näytteistä, joita koskevat tiheystulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukon 2 ylimmältä riviltä voidaan todeta, että eri jakeiden luonnontilainen kosteus on ollut samaa suuruusluokkaa. Heikosti voidaan havaita kosteussuhteen lisääntyvän fraktion pituuden pienessä.

Sen sijaan taulukon 2 toiselta riviltä voidaan todeta, että 3 vuorokauden vedessä liottamisen jälkeen erityisesti pienin fraktio poikkeaa oleellisesti muista jakeista. Yleisesti voidaan havaita selvä kosteussuhteen kohoamistrendi jakeen pituuden pienentyessä.

Erityisesti pienimmän jakeen kosteussuhteen perusteella vaikuttaa luultavalta, ettei pienimpiä jakeita voida verrata luonnontilaisen puun käyttäytymiseen. Voidaan ajatella, että pienimmässä jakeessa on runsaasti puutumattomia soluja ja vastaavaa materiaalia, joka pystyy imemään vettä erityisen runsaasti sen jälkeen, kun puun alkuperäinen rakenne ei enää ole estämässä turpoamista. Esim. juuri sisäkuori lienee sellaista ainesta, joka pieniksi murusiksi hakattuna pystyy turpoamaan erityisen paljon. Tavallisessa puh-

Taulukko 2. Eri mäntyjakeiden luonnontilainen kosteussuhde ja kosteussuhde tiheyden määrittämisen aikaan sekä muunnettu kuiva-tuoretiheys.

Table 2. Green moisture content of dry weight and that at the time of the measurement of basic density in pine chips. In addition, the transformed basic density.

Ominaisuus Variable	Jakeen pituus, mm — Length of fraction, mm							
	<3	3..6	7..13	14..16	17..19	20..25	26..32	32<
Kosteussuhde luonnontilassa, % ..... Original moisture content, per cent	142	138	135	137	138	133	117	124
Kosteussuhde tiheyttä määritettäessä, % ..... Moisture content at the time of the measurement of basic density	430	264	213	206	205	205	166	136
Muunnettu kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> ..... Transformed basic density, kg/m <sup>3</sup>	365	362	360	359	362	356	378	388

taassa puuaineessakin on sitä paitsi joskus todettu, että paisuminen kuivasta maksimaaliseen tilavuuteen lisääntyy puupalan ohetessa (esim. VORREITER 1955). Tätä käsitystä kaikki tutkijat eivät kuitenkaan jaa (esim. NOACK 1964). — Muitakin virhelähteitä on (ks. ERICSON 1966 ja sen kirjallisuusuusluettelo).

Edellä kuvattua hypoteesia tukevat ne julkaisemattomat havainnot, joiden mukaan ehyiden oksapalasten kuori ei pysty pitkään liotuksen aikana saavuttamaan kovin suurta kosteuspitoisuutta oksan rakenteen ollessa ehyt ja näin ollen estäessä liiallisen turpoamisen. Näiden havaintojen perusteella vaikuttaa uskottavalta, ettei pienimmän jakeen kosteussuhde 430 % voi olla mahdollinen muuten kuin turpoamista pidättävän rakenteen särkymisen seurauksena.

Jos esimerkinomaisesti oletetaan, että 200 % ylittävä kosteussuhde aiheuttaa särkyneestä rakenteesta johtuvaa ylimääräistä turpoamista, taulukon 1 mukaiset kuiva-tuoretiheydet voidaan muuntaa vastaamaan 200 % kosteussuhdetta. Tämä tapahtuu yksinkertaisesti siten, että mitatusta jakeen tilavuudesta vähennetään sen kosteuden osuus, joka ylittää 200 %.

Tällä tavalla transformoidut kuiva-tuoretiheydet on esitetty taulukon 2 alimmalla rivillä. Näiden muunnettujen tulosten mukaan kuiva-tuoretiheys pysyy suunnilleen samalla tasolla jakeesta riippumatta ainoastaan kahden suurimman jakeen ollessa tiheydeltään muita korkeampia. Saattaa olla, että tällainen tulos vastaa paremmin luonnontilaisia olosuhteita kuin taulukossa 1 esitetyt, särkynyttä solukon rakennetta koskevat tulokset, vaikka raja 200 % on täysin mielivaltaisen.

Käytetyllä tutkimustekniikalla tätä kysymystä ei voida kuitenkaan katsoa selvitettyksi.

Edellä kuvattu kuiva-tuoretiheyden korjaus voidaan tulkita myös toisella tavalla. — Aiemmin kuvatussa upotusmenetelmässä hakkeen tilavuutena pidetään ilmassa punnitun massan ja vedessä punnitun massan erotusta. Käytännössä mittaus tehdään ensin vedessä, jonka jälkeen reiällisestä astiasta ravistellaan vesi pois ja astia punnitaan ilmassa. Mittauksesta toiseen vesi pyritään ravistelemaan pois samalla tavalla. Luultavaa on, että pienimpiin jakeisiin jää enem-

män vettä kuin karkeampiin jakeisiin, koska partikkeleiden pinta-ala on erittäin paljon suurempi. Vastaavasti ilmassa ja vedessä punnitun massan erotus tulee liian suureksi, ts. tilavuus arvioidaan liian suureksi ja sen vuoksi kuiva-tuoretiheys liian alhaiseksi. Kun nyt yli 200 % ylittävä kosteus otetaan em. tavalla huomioon, se merkitsee toisen tulkinnan mukaan tehokkaampaa ylimääräisen veden poistamista ilmassa punnitusta näytteestä.

Tässä yhteydessä ei ole ollut mahdollista selvittää, mikä osuus alhaiseen kuiva-tuoretiheyteen on liiallisella paisumisella ja mikä osuus pienten partikkeleiden pinnalla olevalla liiallisella vedellä.

Eräs mahdollisuus välttää virhemahdollisuus on käyttää liottamatonta haketta. Tällöin joudutaan ottamaan huomioon veden imeytyminen mittauksen aikana (LINDAHL 1949, THUNELL 1952, s. 103). Luultavaa on, että ongelmia syntyy ilmakuplista, joiden vähentämiseksi mm. pintajännitystä vähentävien aineiden käyttö saattaa olla tarpeen (vrt. NYLINDER 1958).

### 32. Koivusta tehty kokopuuhaake

Talvella 1976 Trelan-hakkurilla hakettiin Länsi-Suomessa myös pienikokoista koivupuustoa. Hakettujen puiden määrä oli useita satoja. Tehdyistä kokopuuhaakeista kerättiin pieninä erinä näyte, josta huolellisen sekoittamisen jälkeen otettiin laboratoriomittauksia varten pienempi näyte. Se käsiteltiin samalla tavalla kuin aiemmin selostettu mäntynäyte. Kaikkiaan mitattiin 57 näytteen kuiva-tuoretiheys näytteen kuivan massan ollessa keskimäärin 143 g. Kaikkiaan tuli mitatuksi näin ollen kuivalta masalta 8,1 kg koivusta tehtyä kokopuuhaaketta.

Taulukossa 3 on esitetty koivuhakkeen pituusjakauma sekä kunkin jakeen kuiva-tuoretiheys.

Tässä esimerkitapauksessa kahteen alimpaan fraktioon kuului näytteen kokonaismassasta 8,8 %. Osuus on huomattavasti pienempi kuin taulukon 1 esittämällä männällä. Syynä on ilmeisesti koivun mekaanisesti kestävämpi rakenne, joka suosii pitkien lastujen syntymistä.

Samoin kuin männällä, myös koivulla pie-

Taulukko 3. Koivusta tehdyn kokopuuhaakkeen pituusjakauma ja jakeiden kuiva-tuoretiheys.  
Table 3. Length distribution of birch total tree chips and basic density of the fractions.

Ominaisuus Variable	Jakeen pituus mm — Length of fraction, mm							
	<3	3...6	7...13	14...16	17...19	20...25	26...32	32<
Jae % hakkeen tuoremas- sasta .....	2,6	6,2	26,2	13,9	13,3	22,8	11,6	3,4
Per cent of total green weight of chips								
Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> .....	$\bar{x}$							
Basic density, kg/m <sup>3</sup> s	(187)	329	389	404	416	423	427	448
	22,3	28,0	5,0	5,7	9,7	5,3	26,5	8,8

nempiä palasia sisältänyt jae oli erittäin kevyttä. Palakoon ollessa alle 3 mm kuiva-tuoretiheys oli tässä tapauksessa ainoastaan 187 kg/m<sup>3</sup>. Jo seuraavassa jakeessa, jonka palakoko oli 3...6 mm, kuiva-tuoretiheys oli huomattavasti korkeampi. Suurempiin palakokoihin siirryttäessä voidaan edelleen havaita kuiva-tuoretiheyden kasvavan, aivan samoin kuin männällä.

Taulukon 3 mukaan kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeama vaihtelee jakeesta toiseen mittausten vähäisen lukumäärän vuoksi (n = 57). Näytteen kokoa koskevia laskelmia varten voidaan olettaa, että kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeama on n. 15 kg/m<sup>3</sup>. Tällöin vain 10 määrittämisen avulla voidaan kunkin jakeen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys selvittää 10 kg/m<sup>3</sup> tarkkuudella (p = 0,05).

Myös koivun osalta huomiota kannattaa kiinnittää poikkeuksellisen alhaiseen kuiva-tuoretiheyteen pienimmässä jakeessa. Tässä tapauksessa ei voida edes olettaa, että pienimpien jakeiden korkea kuoriprosentti olisi tiheyttä oleellisesti alentava tekijä. On nimittäin tiedossa, että koivun kuoren kuiva-tuoretiheys on itse asiassa jopa suurempi kuin puuaineen vastaava tiheys. Esim. HAKKILAN (1966, s. 71, 1967, s. 29) esittä-

mistä tuloksista voidaan KÄRKKÄISEN (1976) kehittämällä menetelmällä laskea, että koivukuitupuun kuoren kuiva-tuoretiheys on 515 kg/m<sup>3</sup>, halkopuun 536 kg/m<sup>3</sup> ja latvojen hukkapuun 498 kg/m<sup>3</sup>. Nämä arvot ovat suurempia kuin vastaavat puuaineen tiheydet. — Samoin vertaamalla TAMMISEN (1970) taulukoita 19 ja 36 voidaan todeta, että puuaineen kuiva-tuoretiheys on keskimäärin hivenen alempi kuin kuoren.

Mainittakoon kuitenkin, että erään julkaisemattoman aineiston mukaan koivun oksissa kuoren kuiva-tuoretiheys on alhaisempi kuin vastaava puuaineen tiheys. Kyseisessä tapauksessa puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin 513 kg/m<sup>3</sup> ja kuoren 493 kg/m<sup>3</sup>. Kuoren ja puuaineen ero ei ole siis suuri. Samansuuntaisen tuloksen on saanut myös GISLERUD (1974, s. 51). Hänen aineistossaan pienissä oksissa (läpimitta alle 10 mm) puun ja kuoren kuiva-tuoretiheydet olivat 499 ja 488 kg/m<sup>3</sup>, keskikokoisissa oksissa (11...20 mm) 506 ja 468 kg/m<sup>3</sup> sekä suurissa oksissa (21...40 mm) 548 ja 416 kg/m<sup>3</sup>.

Syytä pienimmän jakeen alhaiseen tiheyteen on siis etsittävä muualta kuin korkeasta kuoren osuudesta. — Myös tässä tapauksessa mitattiin tilavuuden määrittämisen aikaan eri jakeissa vallitseva kosteussuhde. Saadut tulokset on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

Jae mm Fraction	Kosteussuhde % Moisture content	Jae mm Fraction	Kosteussuhde % Moisture content
< 3	445	17...19	154
3... 6	226	20...25	147
7...13	174	26...32	147
14...16	162	32<	138

Ainakin pienimmän jakeen kosteussuhdetta voidaan pitää tavattoman korkeana. — Onkin aiheellista olettaa tässä yhteydessä, samoin kuin aiemmin männyllä, että nimenomaan pienimmän jakeen korkea kosteussuhde ja alhainen tiheys ovat molemmat seurauksia rakenteen särkymisestä. Olettaa sopii, että rikkoutunut rakenne mahdollistaa huomattavasti suuremman materiaalin paisumiseen kuin ehyt rakenne. — Toinen mahdollisuus on aiemmin selostettu koevirhe.

Jos oletetaan, että yli 200 % kosteus aiheuttaa rakenteen särkymisestä, ja tämä otetaan huomioon aiemmin esitetyllä tavalla, taulukossa 3 esitetyt tiheyslukuja joudutaan korjaamaan kahden pienimmän jakeen osalta. Muunnetuksi kuiva-tuoretiheydeksi saadaan pienimmälle jakeelle 338 kg/m<sup>3</sup> ja toiseksi pienimmälle jakeelle 356 kg/m<sup>3</sup>. Voi-

daan olettaa, että nämä luvut ovat perustellumpia arvioita luonnontilaisessa kosteudessa olevan kokopuumateriaalin kuiva-tuoretiheydestä kuin ne luvut, jotka on esitetty taulukossa 3. Kuten aiemmin on todettu, käytetyllä tutkimustekniikalla tätä kysymystä ei voida kuitenkaan ratkaista.

### 33. Harmaalepistä tehty kokopuuhaake

Talvella 1976 hakettiin myös harmaaleppää. Analysoitaessa harmaalepistä tehtyä kokopuuhaaketta voitiin jälleen kerran havaita, että pituusseulonnalla saadut eri jakeet poikkesivat kuiva-tuoretiheydeltään toisistaan. Tätä osoittaa seuraava jaotelmä, jossa on esitetty kuiva-tuoretiheyden keskimääräiset arvot jakeittain sekä kosteussuhde tilavuutta määrittäessä.

Ominaisuus Variable	Jakeen pituus, mm — Length of fraction, mm							
	<3	3..6	7..13	14..16	17..19	20..25	26..32	32<
Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> .....	285	338	354	356	354	354	358	..
Basic density, kg/m <sup>3</sup>								
Kosteussuhde % .....	272	200	177	168	165	158	159	..
Moisture content per cent								

Tässä esimerkkitapauksessa eri jakeiden kuiva-tuoretiheys poikkeaa vähemmän toisistaan kuin aikaisemmissa esimerkeissä. Tilavuutta määrittäessä vallinneen kosteussuhteen tarkastelu kuitenkin osoittaa, että erityisesti pienin jae on käyttäytynyt eri tavalla kuin ehyemmistä palasista koostuva karkeampi haake. Tässäkin tapauksessa voidaan olettaa, ettei käytetyllä tutkimustekniikalla ole saatu määritetyksi pienimpien jakeiden haketushetkellä vallitsevaa kuiva-tuoretiheyttä. Olettaa sopii, että myös tässä tapauksessa pienimpien jakeiden kuiva-tuoretiheys on mitattu liian alhaiseksi. Tähän viittaa mm. se, että harmaalepän kuoren kuiva-tuoretiheys on runkopuussa suurempi kuin puuaineen (GISLERUD 1974, s. 41), ja oksissa puu on vain vähän tiheämpää (GISLERUD 1974, s. 51). — Jos myös harmaalepän osalta oletetaan, että yli 200 % kosteussuhde indikoi rakenteen särkymistä ja liiallista turpoamista tai aiemmin selostettua koe-

virhettä, tämän turpoamisen laskennallisen eliminoimisen jälkeen myös pienimmän jakeen kuiva-tuoretiheydeksi saadaan yli 300 kg/m<sup>3</sup>.

### 34. Kuusen neulasten tiheyden määrittäminen

Aiemmin kuvattua kollektiivista tiheyden määrittämismenetelmää kokeiltiin myös kuusen neulasiin. Kaikkiaan tutkittiin 17 kuusenneulasnäytteen kuiva-tuoretiheys. Mitattujen neulaserien keskimääräinen kuiva massa oli 66 g. Näin ollen koko aineiston suuruus oli kuivana massana ilmaisten 1,1 kg.

Kuusen neulasten tiheys määritettiin sekä rankoineen että ilman niitä. Ensimmäisessä vaiheessa mitattiin tuoreet kuusen neulasen rankoineen. Mukaan otettiin vain sellaiset kasvaimet, joissa oli neulasia. Tämän jälkeen näistä rangoista poistettiin neulas-

ja määritettiin pelkkien rankojen kuiva-tuoretiheys.

Tällaisessa kuiva-tuoretiheyden määrittämisessä, jossa mittauksen kohteena oli ehyt solukko, onnistuttiin ilmeisesti hyvin. Neulasten ja rankojen yhteiseksi tiheydeksi saatiin 301 kg/m<sup>3</sup>. Mittausten standardipoikkeama oli 15,5 kg/m<sup>3</sup>. Näissä mittauksissa käytettiin sellaista aineistoa, jonka neulasten ja rankojen yhteisestä kuivasta massasta neulasen muodostivat 76 %.

Mainittakoon vielä, ettei rankojen ja neulasten tiheyksien ero ollut kovin suuri. Pelkkien rankojen tiheydeksi saatiin 291 kg/m<sup>3</sup> ja pelkkien neulasten 304 kg/m<sup>3</sup>.

Vertailu norjalaisiin tuloksiin antaa kuitenkin aiheen epäillä, että myös tässä tapauksessa tilavuus on saatettu mitata liian suureksi. GISLERUD (1974, s. 52) nimittäin

mainitsee neulasten tiheydeksi 353 kg/m<sup>3</sup> kuuselle ja 373 kg/m<sup>3</sup> männyllä. Jatkoselvitysten aihetta ilmeisesti on.

Kun neulasten ja rankojen mittauksessa havaittu standardipoikkeama oli suuruusluokaltaan 15 kg/m<sup>3</sup>, tämä merkitsee sitä, että keskimääräisiin tiheyslukuihin päästään 10 kg/m<sup>3</sup> teoreettisella tarkkuudella silloin, kun tehdään 10 mittausta (p = 0,05).

Mainittakoon vielä, että pitkäaikaisessa neulasten ja niihin kuuluvien rankojen yhteisessä liotuksessa kosteussuhde tilavuuden määrittämishetkellä oli kohtuullisen korkea ja tasainen mitattavasta näytteestä toiseen. Keskimääräinen kosteussuhde oli tässä tapauksessa 225 % ja standardipoikkeama 11,8 %. Tällainen kosteussuhde ei viittaa koevirheeseen.

## 4. YKSITYISTEN HAKEPALASTEN TIHEYDEN MÄÄRITTÄMINEN

Vertailun vuoksi kollektiivisen hakkeen kuiva-tuoretiheyden määrittämisen lisäksi kokeiltiin myös yksittäisten hakepalasten kuiva-tuoretiheyden mittaamista samalla veteenupotusmenetelmällä. Tällaisia mittauksia tehtiin ainoastaan harmaalepistä valmistetusta kokopuuhaakeesta. Mittaukset kohdistettiin ainoastaan sellaisiin hakepalasiin, joista voitiin todeta kyseisen rungonosan tai oksan läpimitta. Läpimitta oli helposti todettavissa pyöreistä oksa- ja runkopaloista. Muissa tapauksissa läpimitta arvioitiin vuosilustoista näkyvän kaarevuuden perusteella tai muilla vastaavilla epäsuorilla tavoilla.

Läpimitan perusteella palaset jaettiin kuuteen ryhmään. Pienin jae koostui läpimitaltaan alle 5 mm olevista palasista. Muut jakeet olivat 6..10 mm, 11..20 mm, 21..30 mm, 31..40 mm ja yli 40 mm. Kustakin jakeesta mitattiin sadan hakepalasen kuiva-tuoretiheys sekä läpimitta. Kun kuori oli useissa palasissa rikkoutunut, kuoren osuuden vaihtelun eliminoimiseksi kaikki mittaukset tehtiin kuorituista palasista. Jäljempänä esitettävät tulokset koskevat näin ollen pelkkää puuainetta.

Taulukossa 4 on esitetty kunkin jakeen palasten keskimääräinen palan keskeltä mitattu läpimitta ja sen standardipoikkeama

Taulukko 4. Harmaalepän kuorittujen puupalasten läpimitta ja kuiva-tuoretiheys yksittäisten hakepalasten mittauksessa. Kustakin jakeesta mitattu 100 palasta.

Table 4. Diameter and basic density of grey alder wood pieces when measured separately. The number of pieces in each fraction is 100.

Ominaisuus Variable		Jae — Fraction					
		1	2	3	4	5	6
Läpimitta, mm	$\bar{x}$	3,5	7,0	14,5	24,4	36,4	60,2
Diameter, mm	s	0,8	1,3	2,8	3,1	5,6	11,7
Kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>	$\bar{x}$	399	388	402	387	379	388
Basic density, kg/m <sup>3</sup>	s	43,0	32,7	52,4	44,3	40,5	43,2

sekä kuiva-tuoretiheyden keskiarvo ja standardipoikkeama.

Taulukon 4 mukaan kuiva-tuoretiheys vaihtelee suhteellisen vähän jakeesta toiseen. Tilastollisesti merkitseviä eroja on ainoastaan jakeiden 1 ja 2, 2 ja 3 sekä 3 ja 4 välillä ( $p = 0,05$ ). Jakeen 3 kuiva-tuoretiheys vaikuttaa poikkeuksellisen korkealta. Yleisenä piirteinä näyttää olevan kuiva-tuoretiheyden lasku läpimitan kasvaessa. Tämä antaa aiheen olettaa, että oksat ovat tiheämpiä kuin runko, tai että puuaineen tiheys laskee ytimestä pintaan päin. — Edellistä olettamusta tukee GISLERUDIN (1974, s. 41, 51) tutkimus.

Kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeama on kaikissa jakeissa samaa suuruusluokkaa, noin  $40 \text{ kg/m}^3$ . Tämä luku on huomattavasti korkeampi kuin kollektiivisissa mittauksissa havaittu  $n. 15 \text{ kg/m}^3$ . Tämä on täysin luonnollista, koska kollektiivisessa mittaamisessa tarkastellaan useiden kymmenien hakepalasten yhteistä kuiva-tuoretiheyttä. — Voidaan olettaa, että mittaamalla  $n. 100$  ha-

## 5. TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä tutkimuksessa esitelty useisiin hakepalasiin samalla kertaa kohdistuva kuiva-tuoretiheyden määrittämismenetelmä on osoittautunut teknisesti käyttökelpoiseksi silloin, kun partikkelit eivät ole liian pieniä. Tarvittaessa voidaan mm. ilmakuplien vaikutus eliminoida tuloksista. Hakepalasten tilavuuden määrittäminen käy päinsä suhteellisen nopeasti ja halvoin kustannuksin. Tässä tutkimuksessa tarkasteltujen tulosten perusteella näyttää mahdolliselta, että kuivapainoltaan  $100 \text{ g}$  suuruusluokkaa olevia eriä mitattaessa päästään kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeamassa arvoon  $n. 15 \text{ kg/m}^3$ . Tällainen suhteellisen pieni standardipoikkeama edellyttää kuitenkin hyvin sekoitettua haketta.

Sen sijaan on ilmeistä, että ainakin pienimmän jakeen osalta (pituus alle  $3 \text{ mm}$ ) tulosten tulkinnassa on noudatettava varovaisuutta erityisesti silloin, kun jae on lionnut vedessä kauan aikaa. Tässä tutkimuksessa on osoittautunut, että mahdollisesti rakenteen särkymisestä johtuen vettä imey-

kepalasta yksitellen päästään samaan tarkkuuteen kuin mittaamalla kollektiivisella upotusmenetelmällä  $10$  näytettä, joiden kuiva massa on  $100 \text{ g}$  suuruusluokkaa.

Vertailun vuoksi on vielä aiheellista todeta, että yksittäisten hakepalasten upotusmittauksessa ei ilmennyt vaikeuksia tulosten tulkinnassa. On vaikeata arvioida, missä määrin tulokseen on vaikuttanut todellisuudessa erilainen mittaustapa. Hakepalasten tilavuuden kollektiivisessä mittauksessa tilavuutena pidettiin nimittäin ilmassa punnitun ja vedessä punnitun massan erotusta. Yksittäisiä hakepalasia mitattaessa mittaustapa oli taas sellainen, että vaa'alla mitattiin suoraan kunkin palasen tilavuus. Käytännössä tämä järjestyi siten, että vaa'an päällä olevaan vesiasiaan upotettiin mitattava kappale, jolloin vaa'an lukeman muutos osoitti suoraan kappaleen tilavuuden. — Ilmeistä on, että jatkokatkimuksia kaivataan näiden kahden upotusmenetelmän eroista ja käyttökelpoisuudesta erilaisissa tutkimustehtävissä.

tyy poikkeuksellisen paljon pieniin palasiin ja turpoaminen lienee liiallinen luonnonoloihin verrattuna. Toinen mahdollisuus on, että ilmassa kosteita näytteitä punnittaessa pienten partikkeleiden pinnalla on liikaa vettä suurempiin verrattuna, jolloin jakeiden tiheyksien suhteet vääristyvät. Saattaa myös olla, että oleellinen tekijä on kuoren sisältäminen hakkeeseen. Mm. vähäkuorisen hakkeen kuiva-tuoretiheyden mittauksesta ei ole raportoitu mistään komplikatioista (UUSVAARA 1969, 1972). Mainittakoon myös, että eräissä hakkeenmittausstandardeissa hienoin aines ja kuori poistetaan ennen tiheyden mittaamista (ESLYN 1971, NEUSSER ym. 1971).

Kun tilavuus tulee näin ollen yliarvioitua, saadut tiheysarvot ovat ilmeisesti liian alhaisia kuvatakseen haketushetkellä vallitsevia oloja. Varovaisuuden vuoksi lienee viisainta soveltaa menetelmää ainoastaan karkeampiin jakeisiin. Tämän tutkimuksen perusteella sopivana rajana voidaan pitää joko  $3$  tai  $6 \text{ mm}$ .

Kollektiivista tiheyden määrittäminen voidaan kenties soveltaa myös pieniin kappaleisiin edellyttäen, että nämä ovat jo luontaisesti eikä haketuksen vuoksi pieniä. Esim. tässä tutkimuksessa tarkasteltujen kuusen neulasten kuiva-tuoretiheys saatiin ilmeisesti luotettavasti selvitettyksi. Tähän viittaa mm. se, että varsin pitkäaikaisessa liotuksessa kosteuspitoisuus pysyi kohtuullisena, eikä ilmeisesti aiheuttanut materiaalin ylimääräistä turpoamista. — Tämä tulos tuntuu käsitettävältä myös luonnonoloja ajatellen. Ei voida nimittäin ajatella, että neulaset tai muu vastaava materiaali poikkeuksellisen sateisissa oloissa turpoaisi epätavallisesti.

Mitä taas tulee yksittäisten hakepalasten tilavuuden määrittämiseen veteenupottamismenetelmää käyttäen, tämä vaikuttaa täysin mahdolliselta teknisesti. Ilmeistä myös on, että saadut tiheysarvot ovat luotettavia solukon ehjistä rakenteesta johtuen. Kun kuitenkin mittausten standardipoikkeama on ilmeisesti suuri myös muilla puulajeilla kuin esimerkkinä olleella harmaalepällä, kollektiivinen hakkeen tiheyden määrittäminen vaikuttaa onnistuneemmalta. Selvää sitä paitsi on, ettei yksittäisten hakepalasten veteenupottamismenetelmällä voida käytännöllisesti analysoida niin pieniä paloja kuin kollektiivisilla menetelmillä.

Jatkossa tehtäviä laboratoriomittauksia varten on vielä todettava, että yksi tämän tutkimuksen päätuloksia on ilmakuplien vaikutuksen merkityksettömyys käytännössä silloin, kun mitataan likimain vedellä kyllästettyä haketta. Kun ilmakuplia ei

näin muodoin tarvitse ottaa huomioon, hakkeen tilavuuden määrittämisessä voidaan käyttää myös muuta kuin tässä tutkimuksessa käytettyä mittaustapa. Tällöin voidaan asianmukaista huomiota kiinnittää tässä tutkimuksessa ilmenneeseen mahdolliseen koevirheeseen, joka aiheutuu turpoamisesta tai pienten partikkeleiden pinnalla olevasta vedestä. Eräs mahdollisuus on soveltaa sellaista upotusmenetelmää, jossa hakepalasten tilavuus mitataan suoraan nosteen avulla. Tällaista menetelyä käytetään mm. Forest Products Laboratoryssä ja Tappin standardien mukaan toimittaessa. Ylimääräisen veden ongelmasta ei tällöinkään päästä, kuten erilaiset käsitykset sentrifugin käytöstä osoittavat (esim. HATTON 1970, ESLYN 1971, GISLERUD 1974). On aivan ilmeinen tarve kehittää sellaisia laboratoriomenetelmiä, joissa samanaikaisesti hallitaan veden imeytymisen hakepalasiin, niiden turpoaminen ja ylimääräiset ilmakuplat.

NEUSSERIN ym. (1971) tutkimuksen perusteella on aivan ilmeistä, ettei ilman tarkasti vakioitua sentrifugin käyttöä päästä hakkeen tiheyden mittaamisessa upotusmenetelmää käyttäen tarkkoihin tuloksiin. Tällöinkin puulajit vielä poikkeavat toisistaan, koska linkoamisessa jäävä vesimäärä riippuu mm. puun kapillaarinen koosta (HEIZMANN 1970). Ilman sentrifugia upotusmenetelmää voidaan soveltaa luotettavasti vain niin suuriin kappaleisiin, että kappaleen pinnalla olevan veden massa on merkityksetön kappaleen tilavuuteen verrattuna. Varminta on tällöinkin mitata mahdollisimman ehyitä solukkoja.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALESTALO, A. 1976. Purification and storage of whole tree and branch chips for industrial use. ECE/FAO Joint Committee, Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. Hyvinkää 14–16 June, Report TIM/EFC/WP. 1/SEM. 3/R. 1.
- EDBERG, ULF, ENGSTRÖM, LARS & HARTLER, NILS 1973. The influence of chip dimensions on chip bulk density. Svensk Papp. Tidn. 76(14): 529–533.
- ERICKSON, JOHN R. 1976. Sorting whole-tree and branch chips for industrial use. ECE/FAO Joint Committee, Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass, Hyvinkää 14–16 June, Report TIM/EFC/WP. 1/SEM. 3/R. 4.
- ERICSON, BÖRJE 1966. Determination of basic density in small wood samples. An examination of some sources of error. Rapp. Uppsats. Instn. Skogshögsk. 9.
- ESLYN, WALLACE E. 1971. Reliability of a method for measuring specific gravity to determine wood losses in outside chip storage. Tappi 54 (8): 1269–1270.
- GISLERUD, OLAV 1974. Heltreutnyttelse. II. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjork og or.

- Summary: Whole tree utilization. II. Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch, and alder. NISK Rapport 6/74.
- HAKKILA, PENTTI 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61.5.
- » — 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. Summary: Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. Commun. Inst. For. Fenn. 62.5.
- HATTON, J. V. 1970. Precise studies on the effect of outside chip storage on fiber yield: white spruce and lodgepole pine. Tappi 53 (4): 627—638.
- HEIZMANN, PETER 1970. Die Bewegung von flüssigem Wasser in kapillarporösen Körpern unter dem Einfluss kapillarer Zugkräfte sowie dem Einfluss von Zentrifugalkräften. Holz Roh- u. Werkstoff 28 (8): 295—309.
- ISOMÄKI, OLAVI 1966. Tutkimus sahanhakkeen laatuun, saantoon ja kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Summary: On the factors influencing the quality, yield and manufacturing costs of sawmill chips. Commun. Inst. For. Fenn. 62.4.
- KÄRKKÄINEN, MATTI 1976. Havutukkien kuoren tiheys ja kosteus. Summary: Density and moisture content of bark in pine and spruce logs. Commun. Inst. For. Fenn. 87.5.
- LAMB, F. M. & MARDEN, R. M. 1968. Bark specific gravities of selected Minnesota tree species. For. Prod. J. 18 (9): 76—82.
- LINDAHL, ERIK 1949. Undersökningar angående fastmassan i sulfathack. Skogen 36 (8): 106.
- NEUSSER, H., WU, Z. H. & ZENTNER, M. 1971. Über die Erfassung einiger wichtiger Kennzahlen von Holzspänen — Teil II. Versuche zur Bestimmung der Rohholzdichte von Spangemischen. Holzforschung u. Holzverwertung 23 (5): 81—95.
- NISULA, PENTTI 1960. Paino pinotavaran ja hakkeen mittana. Summary: Weight as a standard of piled timber and chips. Pienpuualan Toimik. Julk. 114.
- » — 1961. Polttohakkeen kuivapitoisuuden määrittäminen painomittausta käytettävissä. Summary: Determination of the dry matter content of fuel chips when using measurement by the weight. Pienpuualan Toimik. Julk. 131.
- » — 1967. Tutkimuksia puun tilavuuspainon määrittämisestä hydrostaattisen punnituksen avulla. Summary: Observations on the determination of the volume weight of wood by hydrostatic weighing. Commun. Inst. For. Fenn. 64.4.
- NOACK, DETLEF 1964. Einfluss der Probenabmessungen auf die Bestimmung der Quellmasse von Holz. Holz Roh- u. Werkstoff 22 (5): 174—182.
- NYLINDER, PER 1958. Fastmasseprocenter hos boardved, ribb och bakar samt flis. Summary: The percentage of solid volume in boardwood, edgings, slabs and chips. Rapp. Uppsats. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 16.
- OLESEN, P. O. 1971. The water displacement method. Arboretet Hørsholm For. Tree Improvement 3: 3—23.
- TAMMINEN, ZACHRIS 1970. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. III Björk. Summary: Moisture content, density and other properties of wood and bark. III Birch. Rapp. Instn. Virkeslära Skogshögsk. 63.
- THUNELL, BERTIL 1952. Sägverksindustrins virkesutnyttjning. Papperi ja Puu 34 (4): 95—114.
- UUSVAARA, OLLI 1969. Sahanhakkeen tiheys ja paino. Summary: On density and weight of sawmill chips. Commun. Inst. For. Fenn. 67.3.
- » — 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Keski- ja Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon perustuva tutkimus. Summary: On the properties of sawmill chips. Commun. Inst. For. Fenn. 75.4.
- VORREITER, LEOPOLD 1955. Die Holzquellung als Funktion mehrerer veränderlicher Faktoren, insbesondere der Temperatur und der Holzabmessung. Holz Roh- u. Werkstoff 13 (8): 301—312.

#### SUMMARY:

##### MEASUREMENT OF BASIC DENSITY OF TOTAL TREE CHIPS

When the shortwood method is used in harvesting, an appropriate investigation unit in measuring the wood density is very often a disc or core. In Finland, the density to be measured is very often the basic density. As a rule, the volume of a disc or core is determined by the water displacement method.

When analyzing total tree chips, the volume (and basic density) of single chips can be measured in the same way as for disc and cores. However, this cannot be done in practice, because it is not known, from which tree and which part of a tree the chip particle originates. Therefore, it is more practical to measure the properties of many chip

particles instead of one and obtain an average value at once. When many determinations are made the variance can be computed.

An efficient method for measuring the volume of a number of chips is to put them into a perforated container and use the water immersion method. However, the results are reputed to be not as reliable as using a single disc or core without any container. For example, the surface area of the tree chips is large in relation to the volume, and accordingly the effect of air bubbles may produce some errors.

However, the effect of air bubbles can be taken into account. As is commonly known, at constant temperature a gas behaves according to (1).

$$(1) \quad p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ where}$$

$$p_1, p_2 = \text{pressures}$$

$$V_1, V_2 = \text{volumes (of air bubbles, for example)}$$

This law can be applied as follows. — There is a high cylinder full of water. The container with chips is weighted at two levels. In the upper part of the cylinder the pressure against the air bubbles is smaller than that in the lower level. The index 1 represents the conditions prevailing in the upper level of the cylinder and 2 those in the lower level.

The decrease in the volume of the air bubbles due to the higher pressure in the lower level means that the measured volume of chips is smaller in the lower level than in the upper. This decrease is  $V_1 - V_2$  which is denoted by  $a$ . The difference in pressure is  $p_2 - p_1 = b$ , respectively.

We can also denote

$$V_1 = V_2 + a$$

$$p_1 = p_2 - b$$

When formula (1) is taken into account, the following results are obtained.

$$(2) \quad V_1 = \frac{p_2 a}{b}$$

$$(3) \quad V_2 = \frac{p_2 a}{b} - a$$

In other words, the volume of the air bubbles in the upper level of the cylinder ( $V_1$ ) is obtained by multiplying the difference in weight  $a$  by the ratio  $p_2/b$ , where  $p_2$  is the prevailing pressure in the lower level of the cylinder, and  $b$  the difference in pressure between the levels.

Of course, the volume of the air bubbles must be subtracted from the measured volume of chips in order to obtain the correct result.

The method described above is easily applied in practical measurements. However, there are some complications. For example, if the chips are not saturated by the water, part of the air will remain in the open cells, and this part of the air will not be taken into consideration. Therefore, it is essential that the chips are saturated with water.

Another complication is that in very fine fractions the swelling of material is too big compared with natural conditions. For example, after some days storing in water the moisture content of fines can be over 400 per cent, and it seems to be possible that the swelling of material is excessive. It is supposed that this phenomenon is due to broken tissues, or the excessive water on the surface of particles.

As far as practical results are concerned, the basic densities of various tree species and part of trees are presented in the tables of this study. Besides these tables, the basic density of spruce needles was found to be 304 kg/m<sup>3</sup> without clusters and 301 kg/m<sup>3</sup> including clusters.