

# PUUN JA KUOREN TIHEYS JA KOSTEUS SEKÄ KUOREN OSUUS KOIVUN, KUUSEN JA MÄNNYN OKSISSA

MATTI KÄRKKÄINEN

## SUMMARY:

DENSITY AND MOISTURE CONTENT OF WOOD AND BARK, AND BARK PERCENTAGE IN THE BRANCHES OF BIRCH, NORWAY SPRUCE, AND SCOTS PINE

Saapunut toimitukselle 1976-07-23

Tutkimuksessa on tarkasteltu koivun, kuusen ja männyn oksista otettujen palojen ominaisuuksia. Oksapalaset on otettu tasavälisenä otantana 20 cm välein oksista, jotka on saatu Ruotsinkylässä sijaitsevan metsikön puista. Kaikkiaan tutkittiin 1 056 oksapalasta. Tulokset on esitetty oksapalan läpimitan mukaan jaoteltuna. Lisäksi on tarkasteltu, mikä vaikutus läpimitan lisäksi on näytteenottokohdan etäisyydellä rungosta.

Puun ja kuoren yhteiseksi tuoretiheydeksi saatiin palojen keskiarvona koivulla 859, kuusella 883 ja männyllä 844 kg/m<sup>3</sup>. Puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin koivulla 514, kuusella 547 ja männyllä 424 kg/m<sup>3</sup>. Vastaavat kuoren kuiva-tuoretiheydet olivat 493, 348 ja 311 kg/m<sup>3</sup>. — Lisäksi tuloksia on esitetty kuoren massaosuudesta, puun ja kuoren kosteussuhteesta sekä miten näytepalan etäisyys rungosta vaikuttaa ominaisuuksiin.

## 1. JOHDANTO

Kun puunkorjuumenetelmänä käytetään kokopuuhaketusta, saatavan hakkeen ominaisuuksia joudutaan tarkastelemaan toisella tavalla kuin esimerkiksi tavaralajimenetelmän puutavaralajien ollessa kyseessä. Enää ei ole helppoa erottaa runkojen välistä varianssia puuaineen ominaisuuksissa. Samoin puun sisäinen ominaisuuksien hajonta jää haketta tutkittaessa yleensä selvittämättä. Sen sijaan kokopuuhaketuksen tuloksena syntyvää massaa voidaan jaotella seulomalla ja muilla vastaavilla menetelmillä. Saatavilla jakeilla ei ole mitään täsmällistä vastinetta kokonaista puuta ajatellen. Puun eri osien runsaussuhteet ovat kuitenkin eri-

laiset eri jakeissa. — Tällainen lähtötilanne edellyttää uudenlaista ajattelua puuaineen ominaisuuksien tutkimisessa.

Esimerkiksi haketettaessa oksia sellaiseenaan tai kokopuuhaketuksen yhteydessä tuloksena saadaan oksahaketta, josta ei voida jälkikäteen selvittää, mistä oksan osasta jokin palanen on peräisin. Vielä vähemmän pystytään erottamaan latvuksen eri osia ja eri runkoja. Tavaksi onkin tullut jaotella oksapalat pelkän läpimitan mukaan erilaisiin ryhmiin. — Tällaista oksien ominaisuuksien tarkastelutapaa ovat soveltaneet mm. HAKKILA (1969, 1971), GISLERUD (1974), jne.

Kun oksahakepalasten läpimitan mittamista voidaan käytännön työssä jäljitellä rakoseulaa käyttäen, on ilmeistä, että läpimitajaotteluun perustuva oksa-aineen ominaisuuksien tutkiminen on myös käytännöllisen puunkorjuun kannalta käyttökelpoinen ratkaisu.

Selvää on, että saman läpimitan omaavista oksahakepalasista tehdyt puuaineen ominaisuuksien mittaukset poikkeavat toisistaan. Tämän vaihtelun syitä ei kuitenkaan ole tiettävästi tutkittu. On esimerkiksi epäselvää, onko jonkin pitkän oksan kärjestä otettu ohutläpimitainen näyte ominaisuuksiltaan samanlainen kuin pienen oksan tyvestä otettu näyte. Samoin tuloksia on esitetty vain vähän eri läpimitaluokissa vallitsevasta tarkasteltujen ominaisuuksien hajonnasta. Kirjallisuustutkimuksissa on tyydytty karkeiden keskiarvojen esittämiseen (esim. KEAYS 1971).

Käsillä olevassa tutkimusjulkaisussa tar-

kastellaan, millainen on eräiden puutieteellisten ominaisuuksien hajonta läpimitan mukaan erotelluissa oksapalajakeissa. Samoin tarkastellaan, missä määrin läpimitaluokan sisäistä hajontaa voidaan selittää palan etäisyydellä rungosta. Toisin sanoen pyritään selvittämään, missä määrin kussakin oksapalasten läpimitaluokassa esiintyy systemaattisia eroja, jotka aiheutuvat puuaineen ominaisuuksien muuttumisesta oksan pituus-suunnassa.

Tutkimukseen ovat osallistuneet Tarja Björklund (laboratoriotyöt ja atk-käsittely), John Derome (engl. tekstin tarkistus), Tarja Hollo (laboratoriotyöt), Tauno Oittinen (aineiston hankinta), Aune Rytkönen (konekirjoitustyöt), Raija Siekinen (konekirjoitustyöt), Antero Takala (laboratoriotyöt) ja Matti Valli (laboratoriotyöt). Käsikirjoituksen ovat lukuineet Pentti Hakkila, Veijo Heiskanen, Markku Mäkelä ja Juhani Salmi. Kiitän tuesta.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Talvella 1976 kerättiin näytteitä koivun, kuusen ja männyn elävistä oksista Ruotsinkylän kokeilualueessa. Oksat kerättiin latvuksen eri osista siten, että oksat edustivat koko elävää latvusta. On nimittäin luultavaa, että latvukseen eri osista otetut oksat poikkeavat ominaisuuksiltaan. Esimerkiksi jalokuusesta tiedetään, että oksien vuosilustojen vahvuus kasvaa latvuksen alaosaan yläosaan. Samoin on havaittu, että oksien tyvestä mitattu tiheys on suurempi latvukseen keskiosassa kuin ylä- tai alaosaan (BENÉ 1974). Sama tulos on havaittu myös kuusella ja männyllä (HAKKILA 1971, s. 48).

Laboratoriossa oksista otettiin 20 cm välein systemaattinen näyte. Kuoren osuuden sekä puuaineen ja kuoren kosteuden selvittämiseksi saatiin noin 5 cm mittaisia näytepalasia koivusta 235, kuusesta 138 ja männystä 164 eli yhteensä 537 palasta. Puun ja kuoren tiheyden selvittämistä varten saatiin vastaavanlaisia näytepalasia koivusta 219, kuusesta 137 ja männystä 163 eli yhteensä 519 kappaletta.

Kuoren osuus ja kosteussuhde selvitettiin seuraavasti. — Kustakin n. 5 cm pituisesta kappaleesta mitattiin läpimitta kuoren pääl-

tä. Lisäksi merkittiin muistiin oksapalan rungon puoleisen pään etäisyys oksan tyvestä. Kukin palanen kuorittiin ja mitattiin sekä puuaineen että kuoren massa. Tämän jälkeen sekä puu että kuori kuivatettiin n. 103° C lämpötilassa, kunnes massan alenemista ei enää tapahtunut. Eksikaattorissa jäädyttämisen jälkeen puu ja kuori punnittiin. Tuloksista laskettiin kuoren osuus prosentteina yhteisestä kuivasta ja tuoreesta massasta sekä puun ja kuoren kosteussuhde (kosteus prosentteina kuivasta massasta).

Puun ja kuoren tiheyden selvittämiseksi otetuista palasista mitattiin läpimitta samalla tavalla oksapalan keskeltä kuoren päältä. Edelleen merkittiin muistiin runkoa lähinnä olevan pään etäisyys oksan tyvestä. Kukin oksapalanen punnittiin kuorineen. Tämän jälkeen oksapalasta liotettiin vedessä useita vuorokausia riittävän kyllästysasteen saavuttamiseksi. Tilavuus määritettiin upotamalla kuorellinen näyte vaa'an päällä olevaan vesiastiaan, jolloin vaa'an lukemien erotus ennen ja jälkeen upotuksen osoitti suoraan palasen tilavuuden (ks. esim. OLSEN 1971). Tilavuuden määrittämisen jälkeen

kukin palanen kuorittiin ja tilavuus määritettiin uudelleen samalla tavalla ilman kuorta. Kuorellisena ja kuorettomana mitatun tilavuuden erotusta pidettiin kuoren tilavuutena. — Lopuksi sekä kuori että puuaine kuivattiin n. 103° C lämpötilassa ja punnittiin jäähdyttämisen jälkeen absoluuttisen kuivina. Näistä tuloksista laskettiin puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys sekä puuaineen ja kuoren kuiva-tuoretiheys erikseen.

Tutkimustavasta johtuen kuoren ja puuaineen kosteudet edustavat talvella 1976 vallinneita luonnontilaisia oloja. Puun ja kuoren tilavuus määritettiin tavalla, joka antaa tulokseksi likimain luonnonolosuhteita vastaavan tuloksen. Jos eroa johonkin suuntaan on, saadut tuoretiheydet ja kuiva-tuoretiheydet ovat näytteen turpoamisen vuoksi liian pieniä kuin liian suuria. — Julkaisemattomissa kokeissa on kuitenkin käynyt ilmi, ettei tuoreen, ehyestä solukosta

koostuvan puunäytteen liotus vedessä juuri lainkaan lisää tilavuutta. Näin ollen voidaan sanoa, että myös tiheysluvut koskevat likimain luonnontilaisia oloja. — Kosteuden määrittäytävasta taas johtuu, että muiden haihtuvien komponenttien kuin veden vuoksi saadut havupuiden puun ja kuoren kosteudet ovat pikemminkin liian suuria kuin pieniä.

Tulosten tulkintaa varten on vielä tähdennettävä, että puut ja niistä otetut oksat olivat pieniä. Koivulla aineistoon ei sisällynyt rungon haaroja ja vastaavia paksuja oksia, joiden ominaisuuksien voi olettaa lähenevän runkopuun ominaisuuksia (esim. SACHSSE 1973 (pyökki)). — Oksien keruutavasta johtuen tietoja puiden määrästä (muutamia) ja ominaisuuksista ei ole. Keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta leimikossa oli 15 cm.

### 3. TULOKSET PUUN JA KUOREN TIHEYDESTÄ

#### 31. Tulosten esittämistapa

Kaikki muut paitsi regressioanalyysiä koskevat tulokset esitetään tasoittamattomina lukuina. Taulukossa 1 on esitetty puun ja kuoren tiheyden tutkimisessa käytettyjen oksapalasten läpimittajaottelu, havaintojen määrä kussakin läpimittaluokassa, keskimääräinen kuoren päältä mitattu läpimitta

sekä kappaleen runkoa lähinnä olevan pään keskimääräinen etäisyys rungosta kussakin läpimittaluokassa. — Käytetty luokkaväli, 7 mm, on kenties epähavainnollinen, mutta sitä käyttämällä oli mahdollista saada riittävä havaintomäärä kuhunkin läpimittaluokkaan.

Mainittakoon vielä se taulukosta 1 esille tuleva seikka, että tutkimusaineistoon sisäl-

Taulukko 1. Oksapalojen lukumäärä (n), keskiläpimitta mm (A) ja etäisyys oksan tyvestä cm (B) erivahvaisissa tiheyden tutkimiseen käytetyissä oksapaloissa.

Table 1. Number of branch samples (n), mean diameter mm (A), and distance from the branch butt cm (B) of branch samples of various diameter used in density studies.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	n	A	B	n	A	B	n	A	B
1...7	38	5,5	198	38	5,2	148	43	5,2	161
8...14	85	11,2	139	59	11,2	91	55	11,0	104
15...21	73	17,5	80	39	17,0	43	43	17,8	67
22...28	23	23,3	40	1	22,0	20	19	24,5	50
28<	—	..	..	—	..	..	3	33,0	27
Kaikki — Total	219	13,6	119	137	11,3	93	163	13,2	101

tyi eripituisia oksia. Tämän vuoksi oli mahdollista saada tutkimusta varten samaläpimittaisia oksapalasia, joiden etäisyys rungosta oli erilainen. Tässä yhteydessä ei esitetä jakaumakuviota kussakin läpimittaluokassa. Havaintojen vaihteluväli käy ilmi jäljempänä esitettävistä regressioanalyysiä koskevista kuvista, joissa olevien kuvaajien alku- ja loppupisteestä voidaan nähdä alkuperäisten havaintojen määrittelemä vaihteluväli.

Väärinkäsityksien välttämiseksi on vielä korostettava, että kaikkia läpimittaluokkia yhteisesti koskevat keskiarvot on laskettu alkuperäisistä havainnoista siten, että jokaisesta oksapalasta on laskettu kaikki käytetyt tunnuksat. Näin ollen jokaisesta oksapalasta on erikseen määritetty kosteus, tiheys jne. Käytännössä tästä aiheutuu, että kaikkia läpimittaluokkia koskevat keskiarvot on laskettu lukumääräpainotuksella. Monessa tapauksessa oikeampi menettelytapa olisi ollut painottaa eri läpimittaluokkia niiden edustaman massan suhteen. Tällöin pieniläpimittaisille oksapaloille annettu paino olisi ollut vähäisempi kuin lukumääräpainotuksessa. — Tällaiseen menettelyyn ei kuitenkaan ole ollut mahdollisuuksia käsillä olevassa tutkimuksessa, koska käyttök-

poista tietoa eri jakeiden massoista erilaisissa puissa ei ollut saatavissa. Huomattakoon kuitenkin, että taulukoissa esitetyistä tuloksista voidaan tarvittaessa laskea uudet keskiarvot halutunlaisilla painotuksilla.

#### 32. Kuorellisen puun tuoretiheys

Taulukossa 2 on esitetty puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys erivahvaisissa oksapalasisa. — Mitä ensinnäkin tulee otannan kannalta tärkeään standardipoikkeamaan, tulokset ovat erilaisia koivulla ja havupuilla. Koivulla oksapalasten läpimitan suuressa sekä standardipoikkeama että suhteellista hajontaa osoittava variaatiokerroin suurenevät. Sen sijaan kuusella ja männyllä standardipoikkeama ja variaatiokerroin pienenevät oksapalasten läpimitan suuressa.

Paitsi että koivulla hajonta suurenee läpimitan myötä toisin kuin havupuilla, myös hajonnan taso on huomattavasti korkeampi. Kun kaikkia läpimittaluokkia tarkastellaan yhdessä, koivusta otettujen oksapalasten tuoretiheyden variaatiokerroin on 26,7 %, kuusen 10,6 % ja männyn ainoastaan 7,9 %. Vastaavat standardipoikkeamat ovat 229 kg/m<sup>3</sup>, 94 kg/m<sup>3</sup> ja 66 kg/m<sup>3</sup>. Tämän talvella kerätyn aineiston mukaan on ilmeistä,

Taulukko 2. Kuorellisen puun tuoretiheys erivahvaisissa oksapaloissa.

Table 2. Green density of branch samples (incl.bark) of various diameter.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv
1...7	876	150	17,1	835	155	18,5	788	88	11,2
8...14	864	198	22,9	894	49	5,5	853	41	4,8
15...21	853	261	30,6	912	33	3,6	868	40	4,6
22...28	833	332	39,9	960	..	..	885	36	4,1
28<	..	..	..	..	..	..	901	25	2,8
Kaikki — Total	859	229	26,7	883	94	10,6	844	66	7,9

Merkinnät — Explanations:

$\bar{x}$  = Keskiarvo — mean

s = standardipoikkeama — standard deviation

cv = variaatiokerroin — coefficient of variation

Näitä selityksiä ei jäljempänä toisteta. — These explanations are not repeated afterwards.



että koivun oksista tarvitaan huomattavasti suurempi näyte kuin kuusen ja männyn oksista samaan tarkkuuteen pyrittäessä.

On vaikea keksiä selitystä sille, miksi koivu poikkeaa niin huomattavasti kuusesta ja männystä. Kun kaikista puulajeista otetut oksat olivat tuoreita ja eläviä, ero ei voi johtua esim. siitä, että kuolleiden oksien osuus olisi koivulla suurempi kuin havupuilla. — Jäljempänä tarkasteltavat tulokset viittaavat siihen, että ero ei koske niinkään puuaineen kuiva-tuoretiheyttä, vaan koivun hajonta on havupuita suurempi lähinnä kuoripitoisuuden sekä puun ja kuoren kosteuden suuremman vaihtelun vuoksi.

Taulukon 2 perusteella näyttää ilmeiseltä, että puun ja kuoren yhteisen tuoretiheyden hajonnan lisäksi myös sen keskiarvo muuttuu koivulla eri tavalla kuin havupuilla läpimittaluokan kasvaessa. Jos oksapalasia käsitellään otoksena oksapalaspopulaatiosta, koivulla voidaan havaita vähäinen tuoretiheyden lasku oksien läpimitan kasvaessa. Alkuperäisistä havainnoista laskettu korrelaatiokerroin — 0,037 ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan kuusella ja männynällä tuoretiheys selvästi kasvaa läpimitan kasvaessa. Kuusella korrelaatiokerroin on 0,307 ja männynällä 0,507. Absoluuttiset tuoretiheuserot näkyvät taulukosta 2.

Tässä yhteydessä puulajeittaisiin eroihin ja keskiarvoihin ei kannata kiinnittää erityistä huomiota, koska havaintojen määrä on vähäinen ja tiedossa on laajempia selvityksiä. Jo BAUR (1879) on julkaissut laajaan aineis-

toon perustuvia oksien tuoretiheystietoja, joiden mukaan ilmeisesti järeiden oksien tuoretiheys on koivulla jopa yli 1000 kg/m<sup>3</sup> sekä kuusella ja männynällä 900...1000 kg/m<sup>3</sup>. — Mainittakoon kuitenkin, että tässä esimerkkitapauksessa kuusen oksien tuoretiheys oli suurin ja männyn pienin. Erot olivat kuitenkin kaiken kaikkiaan vähäiset. Selvää myös on, että oksien paksuuden vaihdellessa puulajien välille voidaan saada myös toisenlaisia eroja.

### 33. Puuaineen kuiva-tuoretiheys

Taulukossa 3 on esitetty pelkän puuaineen (ilman kuorta) kuiva-tuoretiheys erivahvuissa oksapaloissa. — Mitä ensinnäkin otannan kannalta tärkeään hajontaan tulee, taulukkoja 2 ja 3 vertaamalla voidaan todeta sekä standardipoikkeaman että variaatiokerroimen pienenevän oleellisesti siirryttäessä puun ja kuoren yhteisestä tuoretiheydestä pelkän puuaineen kuiva-tuoretiheyteen. Erityisesti koivulla vaihtelu pienenee huomattavasti. Puulajien erot eivät ole erityisen merkittäviä taulukon 3 perusteella. Tässä esimerkkitapauksessa pienin standardipoikkeama ja variaatiokerroin oli koivulla ja suurin männynällä. Erot ovat kuitenkin vähäiset verrattuna taulukossa 2 esitettyihin puulajien eroihin.

Läpimittaluokkien väliset hajontaerot näyttävät periaatteessa samanlaisilta kuin taulukossa 2 esitetyt. Kuusella ja männynällä

voidaan havaita sekä standardipoikkeaman että variaatiokerroimen pienenevän läpimittaluokan kasvaessa. Koivulla eri läpimittaluokissa hajonta on samanlainen, joskin voidaan havaita hyvin lievä kohoava trendi. Otannan kannalta merkityksellinen on kuitenkin vain kuusella ja männynällä havaittava hajonnan pieneminen läpimittaluokan kasvaessa.

GISLERUDIN (1974, s. 51) tutkimuksessa on vertailukelpoisia tietoja standardipoikkeamasta. Hänen aineistossaan oli 3...10 mm vahvuisten oksien puuaineen kuiva-tuoretiheyden standardipoikkeama koivulla 21 kg/m<sup>3</sup>, kuusella 71 kg/m<sup>3</sup> ja männynällä 37 kg/m<sup>3</sup>. Vastaavat luvut 11...21 mm oksista olivat 25, 48 ja 61 kg/m<sup>3</sup>. GISLERUDIN hajonnat ovat siis hieman suuremmat kuin tässä tutkimuksessa havaitut. — Mainittakoon, että GISLERUDIN aineisto on käsillä olevan tutkimuksen tavoin yhdestä metsiköstä. — Eräissä muissa tutkimuksissa on saatu oleellisesti pienempiä hajontoja. Esim. GAVA (1974) sai variaatiokerroimeksi 2,8...5,5 %, kun hän mittasi määrätäisyydellä rungosta olevien oksapalojen kuivatiheyttä. Tällöin läpimitta saattoi vaihdella. Puulaji oli kuusi.

Jos oksapaloja pidetään näytteenä erivahvuisten oksapalasten muodostamasta populaatiosta, läpimitan tilastollisesti merkitsevä vaikutus voidaan todeta ainoastaan koivulla. Alkuperäisistä havainnoista laskettu kuiva-tuoretiheyden ja läpimitan välinen korrelaatio on koivulla 0,290. Kuusella vastaava korrelaatiokerroin saa arvon 0,007 ja männynällä —0,089. Nämä havupuita koskevat korrelaatiokerroimet eivät ole muodollisesti merkitseviä. — Absoluuttiset erot kuiva-tuoretiheydessä eri läpimittaluokkien välillä voidaan nähdä taulukosta 3.

Mitä taulukon 2 yhteydessä on todettu puulajierojen ja keskiarvojen yleistettävyydestä, pätee myös kuiva-tuoretiheyteen. Todettakoon kuitenkin, että tässä tapauksessa kuusen oksien kuiva-tuoretiheys oli selvästi suurin, 547 kg/m<sup>3</sup>. Kevyimmät oksat olivat tässä tapauksessa männynällä, 424 kg/m<sup>3</sup>. Koivun oksapalojen kuiva-tuoretiheys oli tässä tapauksessa 514 kg/m<sup>3</sup>.

Taulukossa 3 esitettyjä tietoja on erityisen mielenkiintoista verrata HAKKILAN (1971, s. 48) (H) ja GISLERUDIN (1974, s. 51) (G) esittämiin tuloksiin, joista voidaan esittää seuraava jaotelmä.

Läpimitta Diameter mm	Puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> — Basic density of wood, kg/m <sup>3</sup>					
	Koivu — Birch		Kuusi — Spruce		Mänty — Pine	
	H	G	H	G	H	G
<10	..	499	..	543	..	458
11...20	..	506	581	592	422	463

[According to HAKKILA 1971 (H) and GISLERUD 1974 (G)].

Taulukko 3. Puuaineen kuiva-tuoretiheys erivahvuissa oksapaloissa.

Table 3. Basic density of wood of branch samples of various diameter.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv %	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv %	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv %
1...7	504	24,3	4,8	553	41,7	7,5	428	58,9	13,8
8...14	509	24,7	4,9	540	32,6	6,0	425	38,2	9,0
15...21	521	29,9	5,7	552	30,2	5,5	422	28,6	6,8
22...28	524	26,4	5,0	595	..	..	424	36,6	8,6
28<	..	..	..	..	..	..	403	37,5	9,3
Kaikki — Total	514	27,6	5,4	547	35,2	6,4	424	42,1	9,9

Hakkilan tutkimuksesta otetut luvut tarakoittavat Etelä-Suomea. Vertailun mukaan tulokset tukevat toisiaan puulajien erojen ja tulosten suuruusluokan osalta. Käsillä oleva tutkimus poikkeaa eniten HAKKILAN ja GISLERUDIN tuloksista kuusen oksapaloissa. Myös ENTŠEVIN (1962) tutkimuksessa järeiden oksien tiheys oli korkeampi. Kuusella keskimääräinen kuivatiheys oli peräti 669 kg/m<sup>3</sup>, kun huomioon otettiin vain 1 m pätkä oksan tyvestä.

Taulukon 3 perusteella voidaan todeta, että kuusella oksien puuaine on selvästi tiheämpää kuin runkopuun puuaine. Sen si-

jaan männynällä ja koivulla tällaista eroa ei ole havaittavissa. Esim. HAKKILA (1966, s. 69) on arvioinut, että tavallisen kuitupuun kuiva-tuoretiheys on koivulla 495, kuusella 382 ja männynällä 417 kg/m<sup>3</sup>. Kun näitä lukuja verrataan taulukossa 3 esitettyihin keskimääräisiin lukuihin käsillä olevan tutkimuksen aineistossa, voidaan havaita kaikilla puulajeilla oksien puuaineen olevan tiheämpää kuin runkopuun puuaine. Koivulla ero on 19, kuusella 165 ja männynällä 7 kg/m<sup>3</sup>. Vastaavaksi oksien ja rungon tiheyden eroksi HOSIA ym. (1971) sai kuusella 149 kg/m<sup>3</sup> ja männynällä 29 kg/m<sup>3</sup>.

Latvialainen ROZENS (1972) on samoin havainnut kuusen oksat runkopuuta tiheimmiksi, mutta männyllä taas päin vastoin. Myös GÖTZE ym. (1972) saivat männyllä oksien kuivatiheyden runkopuuta alhaisemmaksi. Toisaalta eräällä japanilaisella mäntylajilla (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) havaittiin oksien kuiva-tuoretiheys runkopuuta korkeammaksi (WATANABE ym. 1962).

Käytännössä ainoa merkityksellinen ero on kuusen oksien ja runkopuun välillä. Eroa voi pitää jopa huomattavana monissa sovelutuksissa. — Eräisiin muihin puulajeihin verrattuna oksien ja rungon tiheysero ei kuitenkaan ole poikkeuksellinen. Esim. WORSTER ja VINJE (1968) ovat raportoineet, että hemlokilla runkopuun kuiva-tuoretiheys on 417 kg/m<sup>3</sup> ja oksien 573 kg/m<sup>3</sup>. Ero on siis samaa suuruusluokkaa kuin kuusella.

Toisaalta on aiheellista mainita puulajien eroista, että eräällä amerikkalaisella mäntylajilla (*Pinus ellottii* var. *ellottii* Engelm.) on havaittu runkopuun puuaineen olevan selvästi tiheämpää kuin oksapuun puuaineen. Kyseisessä tutkimuksessa uuttamattoman puuaineen kuiva-tuoretiheydeksi saatiin rungossa 460..480 kg/m<sup>3</sup> ja oksissa 380..420 kg/m<sup>3</sup> (HOWARD 1973). — Kuten edellä on todettu, käsillä olevassa tutkimuksessa ei männyllä havaittu oleellista eroa rungon ja oksien puuaineen kuiva-tuoretiheydessä.

Väärinkäsityksien välttämiseksi on vielä korostettava, etteivät luvussa 33 esitetyt tiedot ole lainkaan yleistettävissä puuaineessa olevien oksien ominaisuuksiksi.

### 34. Kuoren kuiva-tuoretiheys

Taulukossa 4 on esitetty kuoren kuiva-tuoretiheys erivahvaisissa oksapaloissa. Taulukosta voidaan todeta, että myös kuoren tiheyden hajonta muuttuu läpimitan kasvaessa eri tavalla koivulla kuin havupuilla. Muutosuunta on samanlainen kuin taulukoissa 2 ja 3. Koivulla sekä standardipoikkeama että variaatiokerroin kasvavat oksien läpimitan kasvaessa. Etenkin kuusella, mutta ilmeisesti myös männyllä standardipoikkeama ja variaatiokerroin taas pienenevät, kenties männyn paksuimpia oksapalasia lukuunottamatta.

Myös hajonnan taso näyttää olevan erilainen koivulla kuin havupuilla. Kun kaikkia oksapalasia tarkastellaan yhdessä, koivulla standardipoikkeama on 138 kg/m<sup>3</sup>, kuusella 43 kg/m<sup>3</sup> ja männyllä 42 kg/m<sup>3</sup>. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että myös kuoren tiheyden osalta koivusta tarvitaan suurempi näyte kuin havupuista yhtä tarkkoihin tuloksiin pääsemiseksi. — Tämä johtopäätös ei muutu, vaikka standardipoikkeaman sijasta tarkasteltaisiin suhteellista hajontaa osoittavaa variaatiokerrointa. Koivun variaatiokerroin oli prosentteina ilmaisten 38, kuusen 12 ja männyn 14.

Taulukossa 4 esitetyjä tietoja standardipoikkeamasta ja keskiarvosta voidaan verrata GISLERUDIN (1974, s. 51) esittämiin tuloksiin. Hänen tuloksistaan saadaan seuraava jaotelmä.

Taulukko 4. Kuoren kuiva-tuoretiheys erivahvaisissa oksapaloissa.

Table 4. Basic density of bark of branch samples of various diameter.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv %	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv %	$\bar{x}$ kg/m <sup>3</sup>	s	cv %
1..7	511	94,1	18,4	343	70,8	20,6	314	65,1	20,7
8..14	502	118,3	23,6	350	29,8	8,5	314	24,6	7,8
15..21	484	160,4	33,1	351	20,4	5,8	307	24,1	7,9
22..28	460	185,3	40,3	357	..	..	307	49,3	16,1
28<	..	..	..	..	..	..	310	40,7	13,1
Kaikki — Total	493	138,1	37,6	348	43,2	12,4	311	41,9	13,5

Läpimitta Diameter mm	Kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup> — Basic density of bark, kg/m <sup>3</sup>					
	Koivu — Birch		Kuusi — Spruce		Mänty — Pine	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
3..10	488	41	337	81	330	27
11..20	468	66	329	27	313	15

(According to GISLERUD 1974)

Käsillä olevassa tutkimuksessa hajontaluvut on saatu hieman korkeammiksi kuin GISLERUDIN aineisto osoittaa. Keskiarvoluvut tukevat toisiaan puulajien erojen ja suuruusluokan osalta.

Kun oksapalasia käsitellään otoksena oksapalaspopulaatiosta, millään puulajilla ei voida havaita tilastollisesti merkitsevää kuoren kuiva-tuoretiheyden riippuvuutta läpimitasta. Alkuperäisistä havainnoista laskettu kuoren kuiva-tuoretiheyden ja läpimitan korrelaatio on koivulla -0,090, kuusella 0,055 ja männyllä -0,044. Näin alhaiset korrelaatiokertoimet eivät ole edes lähellä tilastollista merkitsevyysrajaa.

Kun taulukon 4 esittämiä kuorta koskevia tiheyslukuja verrataan taulukon 3 puuaineen tiheyslukuihin, kuoren tiheys voidaan todeta puuaineen tiheyttä alhaisemmaksi. Koivulla ero on tosin vähäinen. Kuusen ja männyn runkopuussa on yleensä saatu samansuuntainen ero kuin käsillä olevassa tutkimuksessa on havaittu oksien osalta. Sen sijaan koivun runkopuussa on yleensä havaittu, että kuori on hiukan tiheämpää kuin puuaine (Kirjallisuutta, ks. KÄRKKÄI-

NEN 1976 a, b). — Mainittakoon, että myös GISLERUD (1974) havaitsi tutkimuksessaan, että koivun oksissa puuaine on tiheämpää kuin kuori.

Runkopuun ja oksien kuoren tiheyttä verrattaessa taulukon 4 esittämät kuiva-tuoretiheydet ovat sangen lähellä runkopuun kuoren tiheyksiä kaikilla puulajeilla. Esim. KÄRKKÄINEN (1976 a) totesi tutkimuksessaan, että mäntytukkien kuoren kuiva-tuoretiheys on keskimäärin 305 kg/m<sup>3</sup>. Tämä on sangen lähellä taulukossa 4 esitettävää arvoa 311 kg/m<sup>3</sup>. Edelleen kyseisessä tutkimuksessa todettiin kuusen kaarnattoman kuoren kuiva-tuoretiheydeksi 365 kg/m<sup>3</sup>. Myöskään tämä ei poikkeaa paljon taulukossa 4 esitetyistä luvusta 348 kg/m<sup>3</sup>. — Käytännössä tämä merkitsee mm. sitä, että karkeissa laskelmissa voidaan olettaa runkopuun ja oksien kuoren kuiva-tuoretiheys yhtä suureksi kaikilla kolmella puulajilla. — Epäsuorasti samanlainen tulos on eräässä amerikkalaisessa tutkimuksessa, jossa ei havaittu läpimitan vaikuttavan kuoren tiheyteen hakuikänteissä. Puulaji oli *Pinus contorta* (FOULGER ja HARRIS 1973).

## 4. TULOKSET KUOREN OSUDESTA SEKÄ PUUN JA KUOREN KOSTEUDESTA

### 41. Tulosten esittämistapa

Kuoren osuutta sekä puun ja kuoren kosteutta koskevat tulokset esitetään oksapalasten läpimittaluokittain samalla tavalla kuin puun ja kuoren tiheyttä koskevat tulokset. Kaikki luvut ovat näin ollen tasoitamattomia.

Taulukossa 5 on esitetty tässä tutkimuksen osassa käytettyjen oksapalasten läpimitajaottelu, havaintojen määrä kussakin läpimittaluokassa, keskimääräinen kuoren pältä mitattu läpimitta sekä oksakappaleen runkoa lähinnä olevan pään keskimääräinen

etäisyys rungosta kussakin läpimittaluokassa. — Taulukossa 5 esitetyt luvut ovat sangen lähellä taulukossa 1 esitetyjä lukuja eron johtuessa lähinnä siitä, että tässä tutkimuksen osassa käytetyt kappaleet on otettu keskimäärin hieman lähempää oksan tyveä kuin tiheystutkimuksessa käytetyt palaset. Vastaavasti läpimitat ovat hieman suuremmat. Poikkeamat havaintojen lukumäärissä johtuvat eräiden oksakappaleiden hylkäämisestä halkeamien yms. vuoksi.

Kuten luvussa 31 on esitetty, myös tässä tapauksessa havaintojen vaihteluväli käy



Taulukko 5. Oksapalojen lukumäärä (n), keskiläpimitta mm (A) ja etäisyys oksan tyvestä cm (B) erivahvaisissa kuoren osuuden sekä puun ja kuoren kosteuden tutkimiseen käytetyissä oksapaloissa.

Table 5. Number of branch samples (n), mean diameter mm (A), and distance from the branch butt cm (B) of branch samples of various diameter used in the determination of the proportion of bark and the moisture content of wood and bark.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	n	A	B	n	A	B	n	A	B
1...7	37	5,8	196	34	5,1	148	36	5,3	156
8...14	86	11,1	148	59	11,0	91	55	10,8	99
15...21	87	17,6	77	44	17,1	40	47	17,4	64
22...28	24	23,6	36	1	22,0	15	21	23,9	45
28<	—	..	..	—	..	..	5	30,6	27
Kaikki — Total	234	14,0	118	138	11,6	88	164	13,8	93

ilmi jäljempänä esitettävistä regressioanalyysiä koskevista kuvista.

#### 42. Kuoren osuus

Kuoren osuus puun ja kuoren yhteisestä massasta laskettiin sekä tuoreen massan että kuivan massan perusteella. Nämä tulokset on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Kuoren osuutta puun ja kuoren yhteisestä tilavuudesta ei ole esitetty, mutta se voidaan laskea helposti taulukon 7 perusteella, kun otetaan huomioon aiemmin esitetyt puun ja kuoren kuiva-tuoretiheydet. Kun kaikilla kolmella

puulajilla kuoren kuiva-tuoretiheys on alempi kuin puuaineen vastaava tiheys, kuoren tilavuusosuudet ovat hiukan suurempia kuin taulukoissa 6 ja 7 esitetyt massaosuudet.

Taulukosta 6 voidaan ensinnäkin todeta, että kaikilla tarkastelluilla puulajeilla standardipoikkeama pienenee oksapalasten läpimitan kasvaessa. Suhteellista hajontaa osoittava variaatiokerroin on kuitenkin samaa suuruusluokkaa.

Läpimittaluokittain tarkastellen eri puulajeilla voidaan sanoa hajonnan olevan samaa suuruusluokkaa sekä standardipoikkeamalla että variaatiokertoimella mitaten. Kun kaik-

Taulukko 6. Kuoren osuus puun ja kuoren yhteisestä tuoreesta massasta erivahvaisissa oksapaloissa. Table 6. Green weight of bark of branch samples of various diameter expressed in per cent of green weight of wood and bark.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
1...7	45,1	6,1	13,5	39,6	6,6	16,7	46,1	7,4	16,1
8...14	34,0	4,9	14,5	30,2	4,0	13,1	31,5	3,6	11,3
15...21	26,9	3,5	12,9	26,3	3,1	11,8	24,3	2,7	11,2
22...28	23,9	2,7	11,5	25,2	..	..	19,6	2,4	12,4
28<	..	..	..	..	..	..	14,3	2,2	15,7
Kaikki — Total	32,1	8,1	25,1	31,2	6,8	21,8	30,6	10,4	33,9

Taulukko 7. Kuoren osuus puun ja kuoren yhteisestä kuivasta massasta erivahvaisissa oksapaloissa. Table 7. Dry weight of bark of branch samples of various diameter expressed in per cent of dry weight of wood and bark.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv	$\bar{x}$	s	cv
1...7	44,4	6,4	14,3	41,3	6,4	15,6	46,3	7,3	15,7
8...14	34,0	4,8	14,0	30,3	4,6	15,2	30,5	4,6	15,0
15...21	27,0	3,7	13,6	24,6	3,1	12,6	22,7	2,7	12,0
22...28	24,1	2,6	10,8	21,2	..	..	17,1	4,3	25,4
28<	..	..	..	..	..	..	13,6	2,4	17,3
Kaikki — Total	32,0	7,9	24,6	31,1	7,9	25,4	29,5	11,2	38,1

ku oksapalasia tarkastellaan yhdessä läpimitasta riippumatta, käsillä olevan tutkimuksen aineistossa männyn hajonta on muita puulajeja suurempi lähinnä paksuista oksapalasta johtuen.

Vertailuna mainittakoon, että GISLERUD (1974, s. 46) sai 3...10 mm läpimitaisten oksapalojen kuoren massaosuuden standardipoikkeamaksi kuusella 7,2, männyllä 3,4 ja koivulla 4,0 prosenttia.

Keskimääräisiä kuoren massaosuuksia tutkittaessa näyttää taulukon 6 perusteella läpimitan vaikutus selvältä. Kaikilla puulajeilla kuoren tuoreesta massasta ilmaistu osuus laskee voimakkaasti ja selvästi oksapalasten läpimitan kasvaessa. Kun oksapaloja pidetään näytteenä erivahvuisten oksapalasten muodostamasta populaatiosta, alkuperäisistä havainnoista laskettavissa olevan kuoren massaosuuden ja läpimitan välinen korrelaatiokerroin on koivulla  $-0,839$ , kuusella  $-0,752$  ja männyllä  $-0,887$ . — Absoluuttiset kuoren osuuden arvot kussa-

kin läpimittaluokassa selviävät taulukosta 6.

Taulukon 6 perusteella puulajien väliset erot eivät ole suuret, mikäli tarkastellaan samanvahvaisia oksia. Kun alkuperäisistä havainnoista lasketaan kuoren massaosuuden regressio läpimitan suhteen, vaikuttaa mahdolliselta, että saman läpimitan omaavissa oksapaloissa suurin kuoren osuus on koivulla, toiseksi korkein männyllä ja alhaisin kuusella. Erot ovat kuitenkin vähäiset, suurimmillaankin vain muutamia prosenttiyksiköjä.

Taulukossa 7 on esitetty kuoren massaosuus puun ja kuoren yhteisestä kuivasta massasta. Johtopäätökset tämän taulukon perusteella ovat paljolti samoja kuin taulukon 6 perusteella.

Taulukossa 7 esitetyt tulokset voidaan verrata HAKKILAN (1971, s. 45) (H) ja GISLERUDIN (1974, s. 46) (G) esittämiin tuloksiin. Kuoren massaosuudesta voidaan esittää seuraava jaotelmä.

Läpimitta Diameter mm	Kuori % puun ja kuoren kuivasta massasta Dry weight of bark in per cent of the dry weight of wood and bark					
	Koivu — Birch		Kuusi — Spruce		Mänty — Pine	
	H	G	H	G	H	G
<10	..	29,4	57,0	38,2	53,0	34,4
11...20	..	..	29,2	..	26,1	..

[According to HAKKILA 1971 (H) and GISLERUD (1974) (G)]

On mielenkiintoista todeta, että havupuilla käsillä olevan tutkimuksen tulokset vastaavat hyvin GISLERUDIN esittämiä tuloksia, mutta ovat ohuissa oksapaloissa selvästi alhaisempia kuin HAKKILAN esittämät kuoren massaosuudet. Koivulla käsillä olevassa tutkimuksessa kuoren osuus on saatu selvästi suuremmaksi kuin GISLERUD on saanut. — Ero HAKKILAN tuloksiin on niin suuri, että sille pitäisi löytää jokin järkevä selitys. Mahdollista on, että ero heijastaa metsiköiden välistä varianssia. Eräitä mahdollisuuksia käsitellään tulosten tarkastelun yhteydessä (s. 233).

Taulukon 7 tietoihin on vielä lisättävä, että tuoreesta massasta lasketun kuoren osuuden lisäksi myös kuivasta massasta laskettu osuus korreloi selvästi läpimitan kanssa. Alkuperäisistä havainnoista voidaan laskea, että kuivasta massasta lasketun kuoren osuuden korrelaatio läpimitan kanssa on koivulla -0,824, kuusella -0,835 ja männyllä -0,886.

Puulajien erot kuoren osuudessa ovat vähäiset, mutta näyttää mahdolliselta, että myös tässä tapauksessa kuoren osuus on suurin koivulla ja pienin kuusella, kun tarkastellaan saman läpimitan omaavia oksia. Erot eivät kuitenkaan ole suuret, korkeimmillaankin vain muutamia prosenttiyksikköjä. Myös STATKOV ym. (1970, s. 60) ovat todenneet samansuuntaisen kuusen ja männyn eron. HAKKILA (1971, s. 45) on saanut puolestaan kuoren osuuden suuremmaksi kuusella kuin männyllä. GISLERUD (1974, s. 46) on saanut kuusen ja männyn välille

samansuuntaisen eron kuin HAKKILA, ja lisäksi saanut koivun kuoriosuuden selvästi havupuuta pienemmäksi, siis toisin kuin käsillä olevassa tutkimuksessa. — GISLERUDIN tutkimuksessa tarkasteltiin 3...10 mm vahvuisia oksapaloja. — HAKKILAN ja GISLERUDIN tulokset on esitetty jaotelmassa sivulla 221.

### 43. Puuaineen kosteussuhde

Taulukossa 8 on esitetty puuaineen kosteussuhde erivahvaisissa oksapaloissa. — Kuten tunnettua, kosteussuhteella tarkoitetaan veden massan osuutta näytteen kuivasta massasta (SI-mittayksikkösuositus... 1974). Tässä tapauksessa osuus on ilmoitettu prosentteina.

Hajonnan eri tunnuslukujen vaihtelu läpimittaluokasta toiseen on epämääräistä, eikä standardipoikkeama tai variaatiokerroin näytä muuttuvan systemaattisesti oksapalan läpimitan kasvaessa. Variaatiokerroimet ovat eri puulajeilla samaa suuruusluokkaa. Standardipoikkeama näyttää sen sijaan olevan männyllä suurempi kuin muilla puulajeilla, kun tarkastellaan saman läpimitan omaavia oksia. Tällä on merkitystä otannassa.

Keskimääräisistä puuaineen kosteussuhteen arvoista eri läpimittaluokissa voidaan taulukon 8 perusteella todeta keskimääräisen kosteussuhteen muuttuvan läpimitan kas-

Taulukko 8. Puuaineen kosteussuhde erivahvaisissa oksapaloissa.

Table 8. Moisture content of wood (of dry weight) in branch samples of various diameter.

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$ %	s %	cv %	$\bar{x}$ %	s %	cv %	$\bar{x}$ %	s %	cv %
1...7	62,9	8,9	14,1	86,6	12,4	14,3	104,3	20,7	19,8
8...14	72,0	16,3	22,6	85,8	11,6	13,6	111,8	18,8	16,8
15...21	75,8	13,1	17,3	78,2	9,4	12,0	114,3	19,2	16,8
22...28	77,2	9,0	11,7	73,9	..	..	116,1	24,4	21,0
28<	..	..	..	..	..	..	127,8	23,4	18,3
Kaikki — Total	72,5	14,1	19,5	83,5	11,7	14,0	111,9	20,6	18,4

vaessa. Kun oksapalasia käsitellään otokseksi oksapalaspopulaatiosta, kaikilla puulajeilla voidaan havaita tilastollisesti merkitsevä korrelaatio kosteussuhteen ja läpimitan välillä. Merkillistä kuitenkin on, että koivulla ja männyllä kosteussuhde kasvaa selvästi läpimitan myötä, kun taas kuusella laskee. Kosteussuhteen ja läpimitan korrelaatiokerroin on alkuperäisistä havainnoista lasketuna koivulla 0,327, kuusella -0,289 ja männyllä 0,233. — Keskimääräiset läpi-

mittaluokittaiset kosteussuhteet käyvät ilmi taulukosta 8.

Vertailun vuoksi esitetään oksien kosteussuhteesta GISLERUDIN ja HAKKILAN (1971, s. 44) saamat tulokset. GISLERUDIN (1974, s. 48) tulokset on laskettu hänen esittämänsä kuiva-ainepitoisuuden perusteella. — Mainittakoon, että GISLERUDIN ja käsillä olevan tutkimuksen aineisto on kerätty talvella, HAKKILAN taas kesällä. G = GISLERUD, H = HAKKILA.

Läpimitta Diameter	Puuaineen kosteussuhde, % — Moisture content in wood, %					
	Koivu — Birch		Kuusi — Spruce		Mänty — Pine	
	H	G	H	G	H	G
<10	..	66,7	..	75,4	..	108,3
11...20	..	66,7	71	61,3	122	108,3

[According to HAKKILA 1971 (H) and GISLERUD 1974 (G)]

Mainittakoon, että HAKKILAN tutkimassa aineistossa sekä kuusen että männyn kosteussuhde aleni läpimitan kasvaessa. Tässä käsillä olevassa tutkimuksessa kosteussuhde aleni kuusella, mutta ei männyllä. — Aineistoon ei sisällynyt paksuja oksia. — GISLERUDIN tuloksista voidaan havaita vain kuusella kosteussuhteen aleneminen läpimitan kasvaessa.

Edellä esitetyt HAKKILAN tulokset koskevat Etelä-Suomea.

Vertaamalla edellä olevaa jaotelmaa ja taulukkoa 8 voidaan todeta, että erot eri tutkimuksien välillä ovat pienehköt. Sen sijaan eräessä puolalaisessa mäntyä koskevassa tutkimuksessa kosteussuhteeksi on saatu peräti 150 %, vaikka kyseessä on ollut järeä puusto ja suuret oksat (KAMINSKI ja JOSEFACIUK 1965).

Läpimittaluokittain tarkastellen puulajien välillä on selviä eroja. Kaikissa läpimittaluokissa männyn kosteussuhde on huomattavasti suurempi kuin kuusen tai koivun. Ohuissa oksapaloissa kuusi on koivua kosteampi, kun taas suurissa oksapaloissa puulajien ero on päinvastainen. Oksapalasten läpimittajakaumasta riippuen keskimääräinen kosteussuhde voi olla koivulla suurempi tai pienempi kuin kuusella.

Tunnettua on, että kosteussuhdekäsitteellä on tiettyjä heikkouksia (ks. esim. KÄRK-

KÄINEN 1976 a). Tämän vuoksi taulukkoon 9 on laskettu oksakuutiometrissä olevan veden massa kg/m<sup>3</sup> puulajeittain ja erivahvaisissa oksissa. Hajontalukuja ei ole voitu esittää, koska veden massa on laskettu taulukossa 8 esitetyn kosteussuhteen ja taulukossa 3 esitetyn puuaineen kuiva-tuoretiheyden perusteella. Kun nämä taulukot perustuvat erilaiseen tutkimusmateriaaliin, hajontalukuja ei ole voitu selvittää.

Taulukko 9. Puuaineessa olevan veden massa kg/m<sup>3</sup> erivahvaisissa oksapaloissa

Table 9. Weight of water in one cubic meter of wood (kg/m<sup>3</sup>) in branch samples of various diameters

Läpimitta Diameter mm	Koivu Birch	Kuusi Spruce	Mänty Pine
	kg/m <sup>3</sup>		
1...7	317	479	446
8...14	366	463	475
15...21	394	432	482
22...28	405	440	492
28<	..	..	515
Kaikki — Total	373	457	474



Taulukko 10. Kuoren kosteussuhde erivahvaisissa oksapaloissa  
 Table 10. Moisture content of bark (of dry weight) in branch samples of various diameter

Läpimitta Diameter mm	Koivu — Birch			Kuusi — Spruce			Mänty — Pine		
	$\bar{x}$ %	s	cv %	$\bar{x}$ %	s	cv %	$\bar{x}$ %	s	cv %
1...7	67,8	9,3	13,7	73,4	14,2	19,4	102,6	17,7	17,2
8...14	71,0	7,6	10,7	85,1	14,3	16,8	122,1	17,3	14,1
15...21	74,5	7,9	10,6	95,7	20,8	21,8	135,2	20,4	15,0
22...28	74,3	4,9	6,5	117,3	..	..	136,2	36,1	26,5
28 <	..	..	..	..	..	..	141,8	24,4	17,2
Kaikki — Total	72,1	8,1	11,2	85,8	18,7	21,7	124,0	25,0	20,2

Taulukosta 9 voidaan joka tapauksessa todeta, että koivulla ja männyllä veden määrä oksatonta kuorikuutiometriä kohti kasvaa läpimitan suuretessa. Kuusella veden määrä kuutiometriä kohti taas laskee, siis samoin kuin kosteussuhde. Puulajien kuiva-tuoretiheyden eroista johtuu, että oksakuutiometrissä olevan veden massalla mitaten männyn oksapuu on kosteampaa kuin kuusen. Tämä puolestaan on selvästi kosteampaa kuin koivun oksapuu. Männyn ja koivun ero on peräti 100 kg vettä oksakuutiometriä kohti. Selvää on, että tällaisella erolla on jo merkitystä esim. energiataloudellisissa laskelmissa.

Vertailun vuoksi mainittakoon, että HAKKILAN (1969, s. 26) tutkimilla suurilla puilla veden massa oli vahvuudeltaan 10...20 mm oksapaloissa kuusella 416 kg/m<sup>3</sup> ja männyllä 509 kg/m<sup>3</sup>.

#### 44. Kuoren kosteussuhde

Taulukossa 10 on esitetty kuoren kosteussuhde erivahvaisissa oksapaloissa. Taulukon mukaan koivulla standardipoikkeama lievästi laskee läpimitan kasvaessa, kun taas kuusella ja männyllä on taas pikemminkin nouseva trendi. Erot läpimittaluokkien välillä eivät kuitenkaan ole suuret. Suhteellista hajontaa osoittava variaatiokerroin muuttuu samansuuntaisesti kuin standardipoikkeama.

Läpimittaluokittain tarkastellen kuoren kosteussuhteen hajonta on havupuilla suu-

rempi kuin koivulla. Ero kasvaa oksapalan läpimitan suuretessa, koska koivulla hajonnalla oli aleneva trendi ja havupuilla kohoa-va. Suuriläpimittaisissa oksapaloissa ero on jo niin huomattava, että kuusesta ja männystä täytyy varautua ottamaan huomattavasti suurempi näyte kuin koivusta samaan tarkkuuteen pyrittäessä. Johtopäätös on sama, tarkasteltiinpa sitten standardipoikkeamaa tai variaatiokerrointa.

Taulukon 10 mukaan keskimääräinen kuoren kosteussuhde kasvaa varsin selvästi oksapalan läpimitan suuretessa. Kun oksapalaset käsitetään otokseksi oksapalaspopulaatiosta, kuoren kosteussuhteen ja läpimitan korrelaatiokerroin on koivulla 0,295, kuusella 0,485 ja männyllä 0,272. Nämä korrelaatiokertoimet ovat tilastollisesti merkitseviä (p = 0,05). Kosteussuhteen regressio läpimitan suhteen on huomattava, kuten voidaan todeta tarkastelemalla taulukossa 10 esitettyjä kosteussuhteen keskiarvoja kusakin läpimittaluokassa.

Taulukon 10 perusteella puulajien väliset erot kuoren kosteussuhteessa ovat selvät. Käsillä olevassa tutkimuksessa männyn kuoren kosteussuhde oli huomattavasti korkeampi kuin kuusen kosteussuhde, joka puolestaan oli koivun kuoren kosteussuhdetta korkeampi.

Männyn ja kuusen ero on huomattavan suuri verrattuna esim. tukkipuiden kuoreen havaittuun eroon (KÄRKKÄINEN 1976 a). Mainitussa tukkipuuta koskevassa tutkimuk-

sessä kuoren kosteussuhde oli kaarnatto- missa näytteissä huomattavasti korkeampi kuin käsillä olevassa tutkimuksessa havaittu, mutta männyn ja kuusen ero oli vähäisempi. Mainittakoon vielä, että tutkimukset ovat vertailukelpoisia sikäli, että molempien aineisto on kerätty talvella.

Myös kuoren kosteussuhteesta saatuja tuloksia voidaan verrata aiemmin tarkasteltuihin HAKKILAN (1971) (H) ja GISLERUDIN (1974) (G) tutkimuksiin. Näistä raporteista saadaan seuraava jaotelmä, kun GISLERUDIN (1974, s. 48) esittämät kuiva-ainepitoisuudet on muunnettu kosteussuhteeksi.

Läpimitta Diameter mm	Kuoren kosteussuhde, % — Moisture content in bark, %					
	Koivu — Birch		Kuusi — Spruce		Mänty — Pine	
	H	G	H	G	H	G
<10	..	85,2	..	104,0	..	117,4
11...20	..	85,2	106	104,1	141	127,3

[According to HAKKILA 1971 (H) and GISLERUD 1974 (G)]

Jaotelmää ja taulukkoa 10 vertaamalla voidaan todeta, että käsillä olevassa tutkimuksessa on saatu etenkin koivulla ja kuusella alhaisia kosteussuhteita em. tutkimuksiin verrattuna. — Kosteussuhde onkin tunnetusti hyvin vaihteleva suure.

Taulukko 11. Kuoreen olevan veden massa kg/m<sup>3</sup> erivahvaisissa oksapaloissa

Table 11. Weight of water in one cubic meter of bark (kg/m<sup>3</sup>) in branch samples of various diameters

Läpimitta Diameter mm	Koivu Birch	Kuusi Spruce	Mänty Pine
	kg/m <sup>3</sup>		
1...7	346	252	322
8...14	356	298	383
15...21	361	336	415
22...28	342	419	418
28 <	..	..	440
Kaikki — Total	355	299	386

## 5. OKSIEN OMINAISUUKSIEN VAIHTELUN SELITTÄMINEN

### 51. Regressioanalyysi

Edellä on oksapalojen ominaisuuksia kuvaavia taulukkoja selostettaessa erityistä huomiota kiinnitetty muuttujien standardi-

Samoin kuin puusta, myös kuoren osalta on laskettu, kuinka paljon kuorikuutiometrissä on vettä. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 11. Hajontalukuja ei ole pystytty selvittämään, koska taulukossa 11 esitetyt luvut on laskettu taulukossa 4 esitetyn kuoren kuiva-tuoretiheyden ja taulukossa 10 esitetyn kuoren kosteussuhteen perusteella. Kun mainitut taulukot perustuvat erilaiseen materiaaliin, hajontalukuja ei ole voitu selvittää.

Taulukon 11 mukaan kuorikuutiometrissä olevan veden määrä lisääntyy oksapalan läpimitan kasvaessa kuusella ja männyllä. Koivulla ilmiö ei ole yhtä selvä, joskin todennäköinen mahdollisesti paksuimpia oksia lukuunottamatta.

Kuorikuutiometrissä olevan veden määrä vaihtelee puulajista toiseen. Taulukon 11 mukaan läpimittaluokittain tarkastellen männyn kuori sisältää eniten vettä ja kuusen vähiten. — Vertaamalla taulukkoa 9 ja taulukkoa 11 voidaan todeta, että puulajeittaiset erot kuoreen olevan veden määrässä ovat erilaiset kuin puuaineesa olevan veden määrässä.

poikkeamaan ja variaatiokerroimeen, joilla on merkitystä suunniteltaessa otantaa oksien ominaisuuksien selvittämiseksi. Näissä selostuksissa on käynyt ilmi, että puulajeilla saattaa olla eroa, hajonta saattaa muut-

Taulukko 12. Oksapalan läpimitan ja eräiden ominaisuuksien korrelaatio  
Table 12. Correlations between the diameter of branch samples and some properties of the branch samples

Ominaisuus — Property	Koivu Birch	Kuusi Spruce	Mänty Pine
	Korrelaatiokerroin Correlation coefficient		
Puun ja kuoren tuoretiheys ..... Green density of wood and bark	-0,037	0,307***	0,507***
Puuaineen kuiva-tuoretiheys ..... Basic density of wood	0,290***	0,007	-0,089
Kuoren kuiva-tuoretiheys ..... Basic density of bark	-0,090	0,055	-0,044
Kuoren osuus tuoreesta massasta ..... Green weight of bark in per cent of green weight of wood and bark	-0,839***	-0,752***	-0,887***
Kuoren osuus kuivasta massasta ..... Dry weight of bark in per cent of dry weight of wood and bark	-0,824***	-0,835***	-0,886***
Puuaineen kosteussuhde ..... Moisture content of wood	0,327***	-0,289***	0,233**
Kuoren kosteussuhde ..... Moisture content of bark	0,295***	0,485***	0,272***

\*\* = p = 0,01  
\*\*\* = p = 0,001

tua läpimittaluokasta toiseen jne. Lisäksi on osoittautunut, että oksapalasten eräiden ominaisuuksien hajonta on suurempi kuin toisten ominaisuuksien.

Edellä on erityistä huomiota kiinnitetty myös oksapalasten läpimitan vaikutukseen tarkastelemalla eri läpimittaluokkia erikseen. Kun luokkaväli on suurehko, 7 mm, eräs läpimittaluokan sisäiseen hajontaan vaikuttava tekijä on ominaisuuden riippuvuus läpimitasta. Mitä selvemmin jokin ominaisuus riippuu läpimitasta, sitä suurempi hajonta tällä ominaisuudella on läpimittaluokan sisällä.

Taulukkoon 12 on koottu aiemmin tekstissä mainitut läpimitan ja eräiden ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet. Taulukosta 12 voidaan havaita, että korrelaatiokertoimella mitaten läpimitta vaikuttaa selvemmin kuoren osuuteen sekä puuaineen ja kuoren kosteussuhteeseen. Puun ja kuoren yhteistä tuoretiheyttä läpimitta selittää havupuilla, mutta ei koivulla. Toisaalta läpi-

mitta selittää puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelua koivulla, mutta ei havupuilla. — Kuoren kuiva-tuoretiheyden vaihtelua läpimitta ei näytä selittävän sen enempää koivulla kuin havupuillakaan.

Otannan kannalta taulukossa 12 esitetyt korrelaatiokertoimet merkitsevät mm. sitä, että tutkittaessa esim. keskimääräistä kuoren kosteussuhdetta oksissa huomiota joudutaan kiinnittämään oksapalaspopulaation läpimittajakaumaan, koska tällä on merkitystä saatujen tulosten kannalta. Sen sijaan tutkittaessa kuoren kuiva-tuoretiheyttä läpimittajakaumaa ei juuri tarvitse ottaa huomioon, koska keskimäärin ottaen saadaan samanlaisia tuloksia erivahvaisista oksista. — Vastaavanlaisia johtopäätöksiä on tehtävissä muista tarkastelluista muuttujista.

Väärinkäsityksien välttämiseksi on vielä mainittava, että taulukossa 12 tarkastellut korrelaatiokertoimet ovat lineaarisen riip-

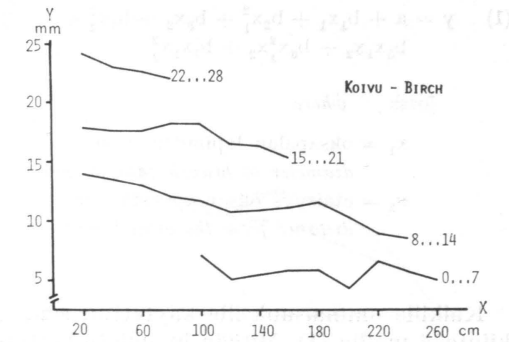
puvuuden mittoja. Todellisuudessa eräissä tapauksissa riippuvuus on käyräviivainen, kuten aiemmin esitetystä taulukoista voidaan todeta. Virheellisiin johtopäätöksiin ei kuitenkaan jouduta tarkastelemalla asioita edellä esitettyllä tavalla, koska korrelaatiokertoimet ovat tässä tapauksessa varovaisia arvioita riippuvuuden selvyydestä. Käyräviivaisuuden huomioon ottaminen vain lisää korrelaatiokertoimien suuruutta ja tilastollista merkitsevyyttä.

Oksapalan läpimitta ei kuitenkaan ole ainut oksaa luonnehtiva suure, jolla on merkitystä selitettäessä erilaisten ominaisuuksien vaihtelua. Voidaan olettaa, että ainakin oksapalasten etäisyys rungosta vaikuttaa ominaisuuksiin. Suureksi osaksi tämä riippuvuus johtunee siitä, että kauimpana rungosta olevat oksapalat ovat keskimäärin ohuempia kuin lähempää rungosta otetut oksapalat. Mielenkiintoinen ongelma kuitenkin on, voidaanko havaita ominaisuuksien riippuvan etäisyydestä myös silloin, kun tarkastellaan samanvahvaisia oksapalasia.

Kun halutaan eliminoida oksapalan läpimitan vaikutus, voidaan tarkastella kutakin oksapalasten läpimittaluokkaa erikseen ja selvittää, voidaanko eri läpimittaluokissa havaita eri ominaisuuksien riippuvan oksapalan etäisyydestä rungosta. Tällainen menettely on yleensä paljon käytetty ja yksinkertaisuudessaan helposti tulkittavissa.

Tällaisella jaottelumenetelmällä on kuitenkin tiettyjä haittoja. Etenkin silloin, kun luokkaväli on suuri ja havaintojen määrä pieni, keskimääräinen läpimitta saattaa vaihdella huomattavasti vaikeuttaen näin tulosten tulkintaa. Samoin voidaan olettaa, ettei keskimääräinen läpimitta ole riippumaton siitä etäisyydestä rungosta, jolta palaset on otettu. Olettaa sopii, että läheltä runkoa otettujen palasten keskimääräinen läpimitta on suurempi samassa läpimittaluokassakin kuin kauempaa otettujen palasten.

Kuvassa 1 on esitetty, miten koivulla keskimääräinen oksapalasten läpimitta muuttui eri läpimittaluokissa oksapalasten etäisyyden funktiona. Selvästi voidaan todeta keskimääräisen läpimitan alenevan etäisyyden myötä. Esimerkiksi kun oksapalasten läpimitta on 8...14 mm, lähimpänä runkoa olevien palasten keskiarvo on 14 mm ja kauimpana olevien palasten 8,5 mm. — Edelleen voidaan todeta eräitä epäsäännöllisiä vaih-



Kuva 1. Koivun oksapalojen läpimitta (Y) käyrettäessä läpimittaluokituista 0...7, 8...14, 15...21 ja 22...28 mm. Etäisyys oksan tyvestä = X.

Fig. 1. Diameter of birch branch samples (Y) using diameter classes 0...7, 8...14, 15...21 and 22...28 mm. Distance from the branch butt = X.

teluja, jotka vaikeuttavat tulkintaa. Esimerkiksi pienimpien oksapalojen ollessa kyseessä 200 cm päässä rungosta otettujen palasten läpimitan keskiarvo on alhaisempi kuin 180 tai 220 cm rungosta otettujen palasten keskiarvo.

Helpoimmin edellä kuvatut vaikeudet voidaan välttää lisäämällä havaintojen lukumäärää ja pienentämällä luokkaväliä. Näin menetellen päädytään tilanteeseen, jolloin keskimääräinen oksapalasten läpimitta ei enää riipu siitä, kuinka kaukaa rungosta palaset on otettu. Ainoa haittapuoli tällaisessa menettelyssä on se, että havaintojen lukumäärä paisuu helposti kohtuuttoman suureksi käytettävissä oleviin resursseihin nähden.

Jaottelumenetelmän sijasta voidaan käyttää regressioanalyttistä menetelmää, joka vastaa tavallaan luokkavälin pienentämistä nollaksi. Tämän menetelmän hyvä puoli on se, että kaikkien havaintojen informaatio tulee käytetyksi hyväksi ja yksinkertaisin menetelmin saadaan mielikuva erilaisten muuttujien vaikutuksesta.

Käsillä olevassa tutkimuksessa regressioanalyysiä sovellettiin seuraavalla tavalla. — Kun haluttiin tarkastella erilaisten ominaisuuksien riippuvuutta oksapalan läpimitasta ja siitä, kuinka kaukaa rungosta oksapalasten oli otettu, laadittiin jokaiselle ominaisuudelle regressioyhtälö mallin (1) mukaan.



$$(1) \quad y = a + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_1x_2 + b_6x_1^2x_2 + b_7x_1x_2^2$$

jossa where

$x_1$  = oksapalan läpimitta, mm  
diameter of branch sample, mm

$x_2$  = etäisyys oksan tyvestä, cm  
distance from the branch butt, cm

Kaikille ominaisuuksille käytettiin samaa kiinteää mallia (1). Mitään huomiota kertomien tilastolliseen merkitsevyyteen ei kiinnitetty eikä muuttujia pyritty karsimaan. Menettely on tässä tapauksessa puolustettavissa: Jos jokin muuttuja tai sen muunnos on merkityksetön kyseisen ominaisuuden selittämisen kannalta kiinteää mallia käytettäessä, tämän muuttujan regressiokerroin tulee likimain nolllaksi. Tämän ylimääräisen muuttujan olemisesta mallissa ei ole mitään haittaa tuloksena saadun regressiökäyrän ennustamiskyvyn kannalta. Toisaalta kiinteässä mallissa haittaa ei ole myöskään selittäjien keskinäisestä korreloitumisesta, koska tuloksena saatua regression kuvaajaa tarkastellaan kokonaisuutena, eikä mitään huomiota kiinnitetä yksittäisten muuttujien kertomiin. — Huomattakoon myös, että usein tilastotieteen oppikirjoissa muuttujien ja niiden muunnosten karsinnan syyksi esitetään tässä tapauksessa pätemättömiä syitä, kuten huonosti selittävien muuttujien mittaus- ja käsittelykustannukset (esim. DRAPER ja SMITH 1968, s. 163).

Esimerkkinä saaduista tuloksista on seuraava jaotelmä, jossa on laskettu männyllä tuoreesta massasta mitatun kuoren osuuden riippuvuus oksan läpimitasta ja etäisyydestä rungosta.

Muuttuja	Kerroin	t-arvo
Variable	Coefficient	t-value
$X_1$	0,560	0,8
$X_1^2$	-0,0309	2,0
$X_2$	0,396	4,1
$X_2^2$	-0,000767	2,7
$X_1X_2$	-0,0370	4,4
$X_1^2X_2$	0,000852	5,2
$X_1X_2^2$	0,000032	1,5

vakio a — constant term: 24,2  
 $R^2 = 0,904$

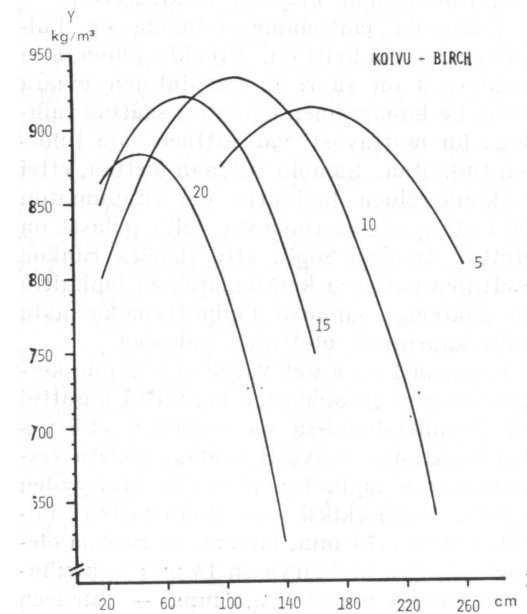
Edellä esitettyä kiinteää mallia käyttäen lasketut tulokset on esitetty kuvissa 2...7. Eri ominaisuuksien regressioanalyyseillä taositetut arvot on laskettu 5, 10, 15 ja 20 mm paksuisille oksapaloille. Kunkin käyrän alku- ja loppupää vastaa alkuperäisen havaintomateriaalin vaihteluväliä.

## 52. Tulokset

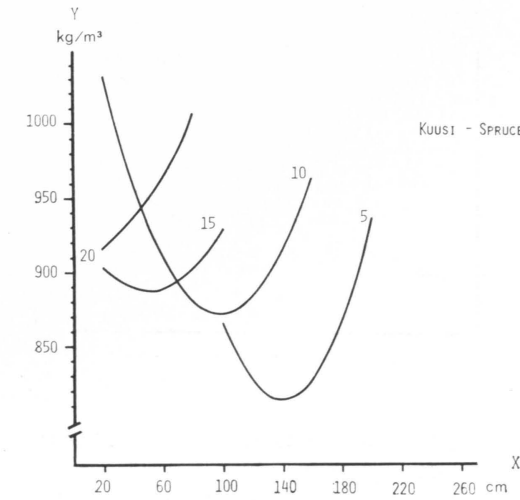
Kuvassa 2 on esitetty, kuinka puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys muuttuu läpimitan ja oksan tyvestä mitatun etäisyyden funktiona. Koivua koskevat tulokset ovat epävarmemmat kuin kuusta tai etenkin mäntyä koskevat tulokset.

Koivulla puun ja kuoren yhteinen tuoretiheys erivahvaisissa oksapaloissa aluksi hieinan kohoaa ja sitten selvästi laskee etäisyyden kasvaessa. Maksimikohta on paksuissa oksapaloissa lähempänä runkoa kuin ohuissa oksapaloissa.

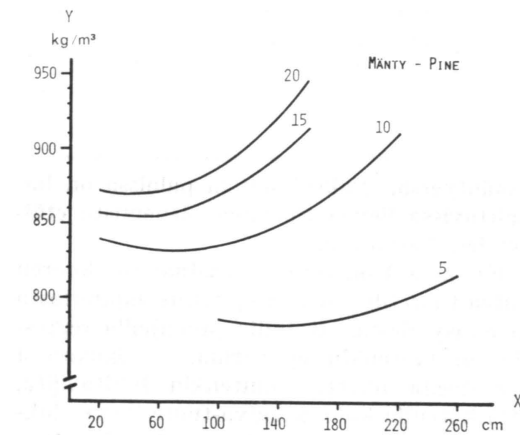
Havupuilla riippuvuus etäisyydestä näyttää olevan toinen. Aivan paksuimpia oksapaloja lukuunottamatta tuoretiheys ensiksi laskee ja sitten kohoaa etäisyyden lisääntyessä. Kuusella aleneminen ja kohoaminen ovat selvästi jyrkempiä kuin männyllä. Eri-



2 a



2 b



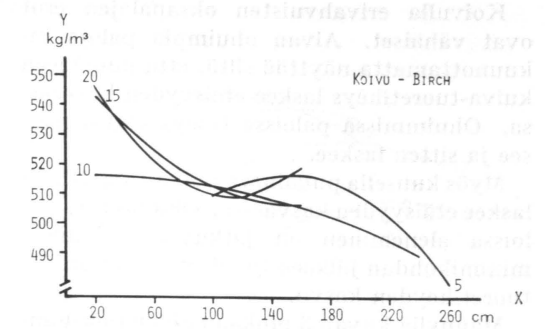
2 c

Kuva 2. Y = Kuorellisen puun tuoretiheys,  $\text{kg}/\text{m}^3$   
X = Etäisyys oksan tyvestä, cm  
 $R^2 = 0,067$  (koivu),  $0,162$  (kuusi),  $0,401$  (mänty)

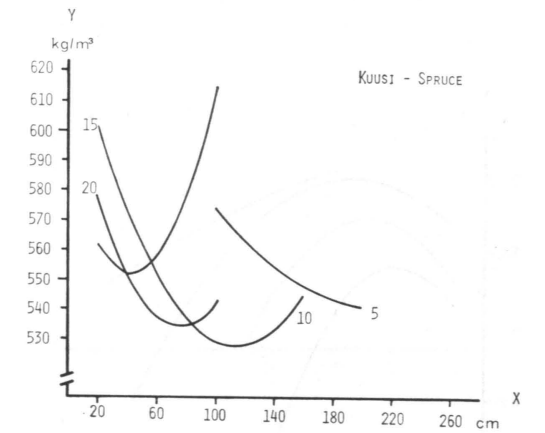
Fig. 2. Y = Green density of branch samples (incl. bark),  $\text{kg}/\text{m}^3$   
X = Distance from the branch butt, cm  
 $R^2 = 0,067$  (birch),  $0,162$  (spruce),  $0,401$  (pine)

tyisesti männyn ohuimmissa paloissa tiheys riippuu vain vähän etäisyydestä.

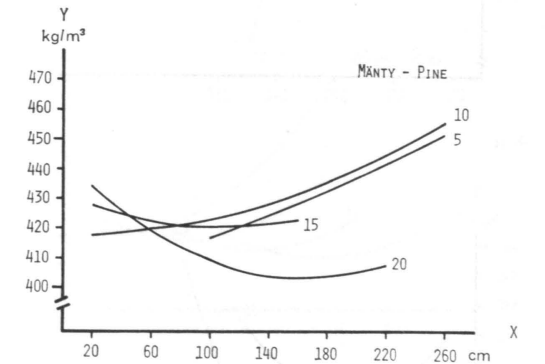
Kuvassa 3 on esitetty vastaavat puuaineen kuiva-tuoretiheyttä koskevat tulokset. Etenkin männyn osalta regressio on epävarma.



3 a



3 b



3 c

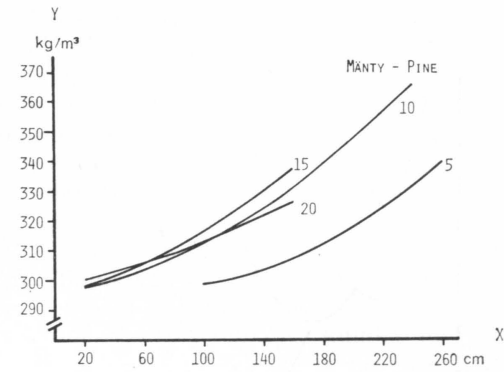
Kuva 3. Y = Puuaineen kuiva-tuoretiheys,  $\text{kg}/\text{m}^3$   
X = Etäisyys oksan tyvestä, cm  
 $R^2 = 0,270$  (koivu),  $0,183$  (kuusi),  $0,054$  (mänty)

Fig. 3. Y = Basic density of wood,  $\text{kg}/\text{m}^3$   
X = Distance from the branch butt, cm  
 $R^2 = 0,270$  (birch),  $0,183$  (spruce),  $0,054$  (pine)

Koivulla erivahvuisten oksapalojen erot ovat vähäiset. Aivan ohuimpia paloja lukuunottamatta näyttää siltä, että puuaineen kuiva-tuoretiheys laskee etäisyyden kasvaessa. Ohuimmissa paloissa tiheys aluksi nousee ja sitten laskee.

Myös kuusella puuaineen kuiva-tuoretiheys laskee etäisyyden kasvaessa. Ohuimmissa paloissa aleneminen on jatkuvaa, paksuissa minimikohdan jälkeen tapahtuu selvä kuiva-tuoretiheyden kasvu.

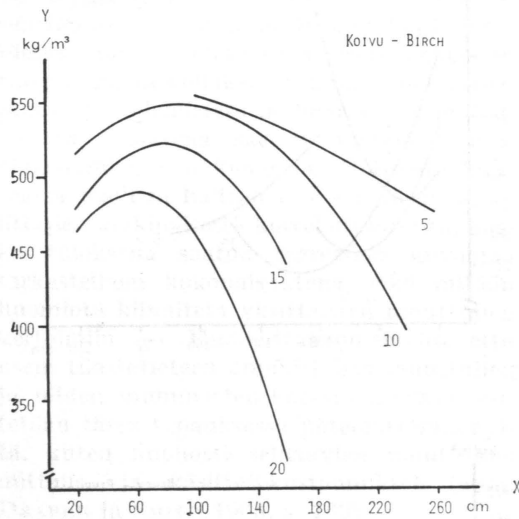
Männyllä kuvan 3 mukaan aivan paksuimpia oksapaloja lukuunottamatta puuaineen kuiva-tuoretiheys lievästi kasvaa etäisyyden



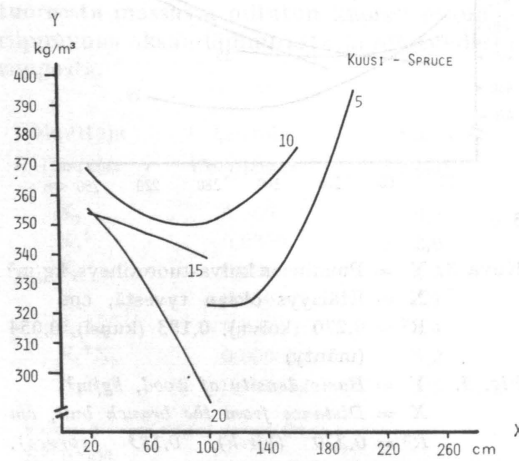
4 c

Kuva 4.  $Y =$  Kuoren kuiva-tuoretiheys,  $\text{kg/m}^3$   
 $X =$  Etäisyys oksan tyvestä,  $\text{cm}$   
 $R^2 = 0,055$  (koivu),  $0,090$  (kuusi),  $0,084$  (mänty)

Fig. 4.  $Y =$  Basic density of bark,  $\text{kg/m}^3$   
 $X =$  Distance from the branch butt,  $\text{cm}$   
 $R^2 = 0,055$  (birch),  $0,090$  (spruce),  $0,084$  (pine)



4 a

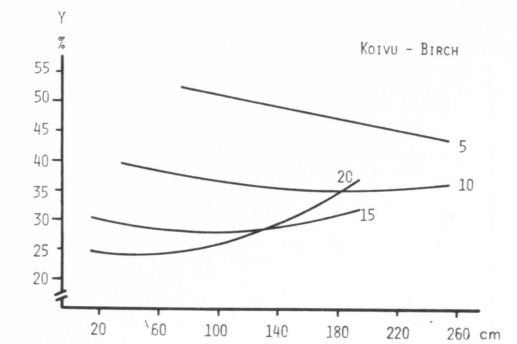


4 b

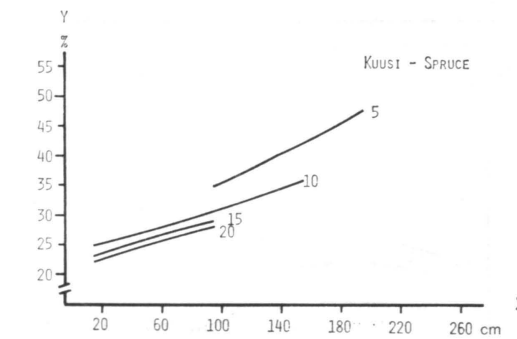
lisääntyessä. Paksuimmissa paloissa on havaittavissa lievää tiheyden alenemista etäisyyden kasvaessa.

Kuvassa 4 on esitetty vastaavasti kuoren kuiva-tuoretiheyden riippuvuus läpimitasta ja etäisyydestä. Kaikilla puulajeilla regressio on kuitenkin epävarma. — Kuvan 4 perusteella näyttää kuitenkin luultavalta, että koivulla kuoren kuiva-tuoretiheys aluksi kohoaa ja sitten laskee etäisyyden kasvaessa. Aivan ohuimmissa paloissa kohoamista ei voi kuitenkaan todeta. Kuusella ohuissa oksapaloissa kuoren kuiva-tuoretiheys nousee ja suurissa laskee etäisyyden kasvaessa. Männyllä kaikenvahvaisilla oksapaloilla voidaan todeta kuiva-tuoretiheyden kohoaminen etäisyyden kasvaessa.

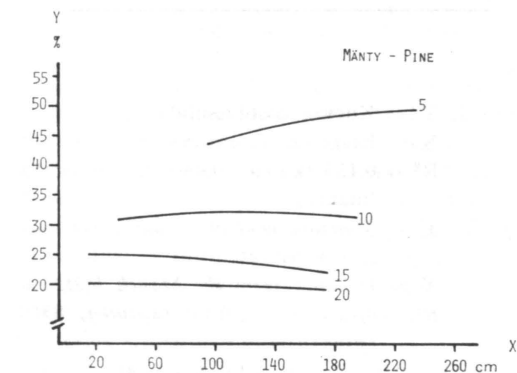
Kuvissa 5, 6 ja 7 esitetyt regressiot ovat suhteellisen varmoja. — Kuvassa 5 on esitetty, kuinka kuivasta massasta ilmoitettu kuoren osuus muuttuu läpimitan ja etäisyyden muuttuessa. — Koivulla voidaan todeta, että ohuimmissa oksapaloissa kuoriprosentti hiukan laskee etäisyyden kasvaessa, suurissa taas nousee. Kuusella kaikenvahvaisissa oksapaloissa kuivasta massasta ilmoitettu kuoren osuus kohoaa etäisyyden kasvaessa. Männyllä mitään muuttumista etäisyyden



5 a



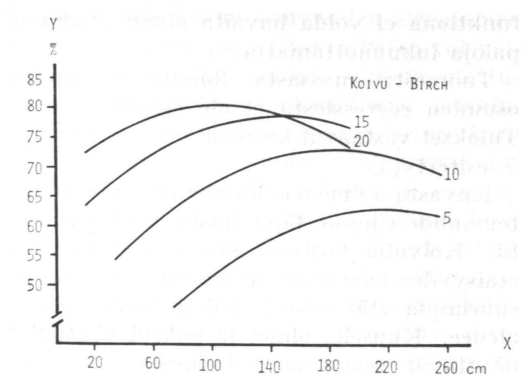
5 b



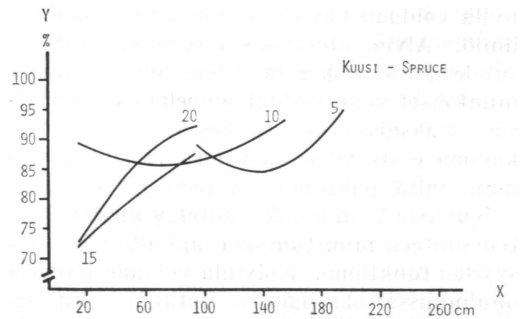
5 c

Kuva 5.  $Y =$  Kuoren osuus kuivasta massasta, %  
 $X =$  Etäisyys oksan tyvestä,  $\text{cm}$   
 $R^2 = 0,764$  (koivu),  $0,843$  (kuusi),  $0,906$  (mänty)

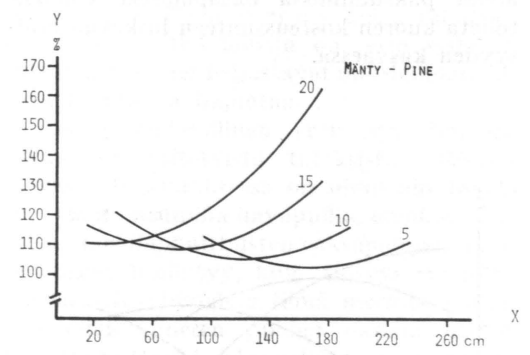
Fig. 5.  $Y =$  Dry weight of bark in per cent of dry weight of wood and bark  
 $X =$  Distance from the branch butt,  $\text{cm}$   
 $R^2 = 0,764$  (birch),  $0,843$  (spruce),  $0,906$  (pine)



6 a



6 b



6 c

Kuva 6.  $Y =$  Puuaineen kosteussuhde, %  
 $X =$  Etäisyys oksan tyvestä,  $\text{cm}$   
 $R^2 = 0,183$  (koivu),  $0,226$  (kuusi),  $0,156$  (mänty)

Fig. 6.  $Y =$  Moisture content of wood, per cent of dry weight  
 $X =$  Distance from the branch butt,  $\text{cm}$   
 $R^2 = 0,183$  (birch),  $0,226$  (spruce),  $0,156$  (pine)

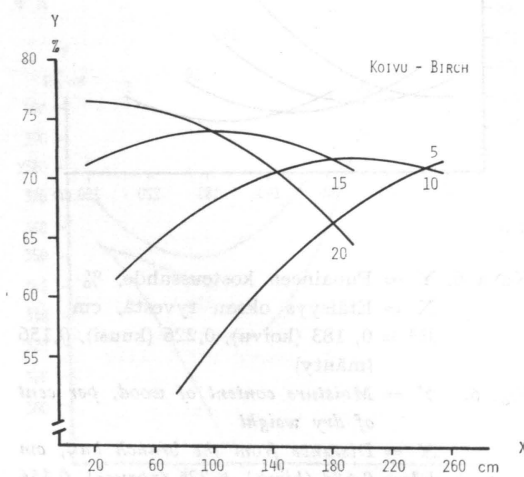


funktiona ei voida havaita aivan ohuimpia paloja lukuunottamatta.

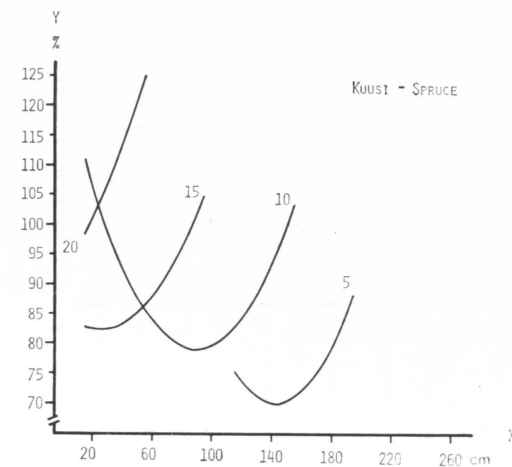
Tuoreesta massasta ilmoitetun kuoren osuuden regressiosta ei ole esitetty kuvaa. Tulokset vastaavat kuitenkin täysin kuvassa 5 esitettyjä.

Kuvasta 6 ilmenee, kuinka puuaineen kosteussuhde riippuu läpimitasta ja etäisyydestä. Koivulla kosteussuhde nousee selvästi etäisyyden kasvaessa lukuunottamatta aivan suurimpia etäisyyksiä, jolloin kosteussuhde alenee. Kuusella ohuet ja paksut oksapalat näyttävät reagoivan eri tavalla. Ohuissa paloissa kosteussuhde aluksi laskee ja sitten kohoaa. Paksuissa etäisyyden kasvaminen merkitsee kosteussuhteen kohoamista. Männyllä voidaan havaita hyvin samantapainen ilmiö. Aivan ohuimmissa paloissa kosteussuhde aluksi laskee ja sitten kohoaa, mutta muutokset koko vaihtelualueella ovat vähäisiä. Paksuissa oksapaloissa kosteussuhde kohoaa etäisyyden kasvaessa ja sitä enemmän, mitä paksummista paloista on kyse.

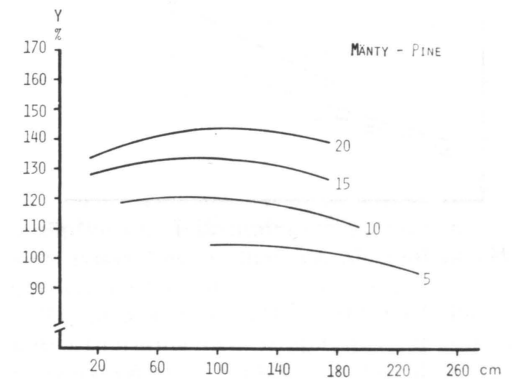
Kuvassa 7 on lopuksi esitetty kuoren kosteussuhteen muuttuminen läpimitan ja etäisyyden funktiona. Koivulla voidaan havaita ohuimmissa oksapaloissa jatkuvaa kuoren kosteussuhteen kohoamista etäisyyden kasvaessa. Kun oksapalasten läpimitta suurenee, kasvu käy yhä vähäisemmäksi, kunnes aivan paksuimmissa oksapaloissa voidaan todeta kuoren kosteussuhteen laskevan etäisyyden kasvaessa.



7 a



7 b



7 c

Kuva 7. Y = Kuoren kosteussuhde, %  
X = Etäisyys oksan tyvestä, cm  
 $R^2 = 0,155$  (koivu),  $0,440$  (kuusi),  $0,313$  (mänty)

Fig. 7. Y = Moisture content of bark, per cent of dry weight  
X = Distance from the branch butt, cm  
 $R^2 = 0,155$  (birch),  $0,440$  (spruce),  $0,313$  (pine)

Kuusella pieniläpimittaisissa oksapaloissa kuoren kosteussuhde aluksi laskee ja sitten kohoaa. Suuriläpimittaisien palojen ollessa kyseessä voidaan havaita kosteussuhteen ainoastaan kohoavan etäisyyden kasvaessa.

Männyllä ei voida havaita mitään selvää riippuvuutta etäisyydestä. Ohuissa oksapaloissa kuoren kosteussuhde kenties hieman laskee etäisyyden kasvaessa, suurem-

missa aluksi nousee ja sitten laskee. Riippuvuus etäisyydestä on kuitenkin merkityksellisen.

Tässä yhteydessä ei ryhdytä tulkitsemaan kuvissa 2..7 esitettyjä tuloksia. Selvää kuitenkin on, että eräät havaitut ilmiöt voidaan selittää joillakin fysiologisilla tekijöillä, kuten sydänpuun muodostumisella havupuiden oksissa. Eräät muutokset oksan pituussuunnassa saattavat olla yllättäviä. Esim. BENIC (1974) on jalokuusella havainnut, että lyltä ei ole eniten oksan tyvellä, vaan keskivaiheilla, vaikka tiheys aleneekin jatkuvasti oksan tyvestä kärkeä kohti. Tämä muutos ei liene yleistettävissä kaikkiin havupuihin. Männyllä on havaittu, että lyltä esiintyy vaihtelevasti: Toisissa oksissa lylän suhteellinen määrä lisääntyy oksan kärkeä kohti, toisissa vähenee (SCHULTZE-DEWIT ym. 1971). Saattaa myös olla, että niinkin yksinkertainen muu-

tos kuin vuosiluston vahvuuden aleneminen oksassa kärkeen päin (BENIC 1974) voi vaikuttaa pienistä ja suurista oksista otettujen samanvahvuisten oksapalojen eroihin.

Tulevien tutkimusten suunnittelun kannalta on tärkeä havainto, että eräissä tapauksissa ominaisuudet riippuvat oksapalan läpimitan lisäksi myös siitä, kuinka kaukana rungosta oksapala on otettu. Käytännössä tämä merkitsee mm. sitä, että otettaessa näytteitä oksapuun ominaisuuksien selvittämistä varten täytyy huolehtia siitä, että näyte edustaa puiden oksistoa myös oksien pituussuunnassa. Tämä voidaan järjestää esimerkiksi siten, että eri kohdista latvusta otetaan näytteeksi oksia, joista muodostetusta kimpusta otetaan oksapalanäyte tasavälisenä otantana. Näin menetellen voidaan sopivalla tavalla ottaa huomioon eräiden oksien ominaisuuksien muuttuminen oksan pituussuunnassa.

## 6. TULOSTEN TARKASTELUA

Käsillä olevan tutkimuksen tuloksia tarkasteltaessa on pidettävä mielessä, että aineisto on kerätty yhdestä ainoasta metsiköstä runkoluvun ollessa vähäinen. Hajonnan tunnusluvuissa on mukana ainoastaan oksapalojen välinen ja osittain runkojen välinen varianssi. Olettaa sopii, että esitetyt standardipoikkeamat ovat pikemminkin liian alhaisia kuin liian korkeita käytännön puunkorjuutyömaita ajatellen. Kun suunnitellaan otantaa oksamateriaalin ominaisuuksien selvittämiseksi, tämä on otettava huomioon. — On vielä huomattava, ettei oksapalasten ominaisuuksien hajonnasta ole esitetty muita suomalaisia tietoja ja näin ollen luvuilla ei ole muiden tutkimusten tukea edes suuruusluokasta.

Kun oksa-aineisto on kerätty yhdestä ainoasta metsiköstä, ominaisuuksien keskiarvoihin ei kannata kiinnittää liiallista huomiota. On vielä tähdennettävä, että esitetyt keskiarvot on laskettu oksapalojen lukumäärän perusteella. Joissakin teollisissa sovellutuksissa eri läpimittajakeet kannattaa painottaa niiden edustamalla massalla.

Kaikki mitatut tunnuksat vastaavat kuitenkin suuruusluokaltaan aiemmin esitettyjä tuloksia. Eräitä mielenkiintoisia eroja

on kuitenkin havaittavissa. Esim. kuoren massaosuus ohuissa oksissa on saatu käsillä olevassa tutkimuksessa poikkeuksellisen alhaiseksi HAKKILAN (1971) tuloksiin verrattuna. Tämä näkyy sivulla 221 olevasta jaotelmasta. — Tiedossa ei ole, mistä tällainen ero johtuu. Mahdollista on, että erilaiset tutkimustulokset heijastavat metsiköiden välistä luontaista hajontaa.

Toinen mahdollinen eron syy ilmenee luvussa 5 esitetystä tuloksesta. Käsillä olevassa tutkimuksessa on nimittäin todettu, että molemmilla havupuilla, etenkin kuusella, pieniläpimittaisien oksapalojen kuoren osuus lisääntyy, kun etäisyys rungosta kasvaa. Käytännössä tämä merkitsee mm. sitä, että suurten puiden oksista otetut pieniläpimittaiset oksapalaset ovat kuoripitoisempia kuin vastaavan läpimitan omaavat palaset pienistä puista, koska ne sijaitsevat kauempana rungosta. Kun HAKKILAN mainittu tutkimus perustuu suurempiin puihin kuin käsillä oleva tutkimus, tämä saattaa olla havaitun eron syy.

Myös kolmas mahdollisuus eron syyksi liittyy puiden kokoon. YLISEN (1971) julkaisemattomat tulokset viittaavat siihen, että samanvahvuisten oksankärkien kuoren

osuus on puun latvassa suurempi kuin latvuksen alaosassa. Mahdolliselta vaikuttaa, että suurilla puilla saadaan suurempi osa pienistä oksapaloista latvasta kuin pienillä puilla.

Otannan suunnittelun kannalta ovat tärkeitä myös luvussa 5 esitetyt tulokset. Niiden mukaan on ilmeistä, ettei pelkkä oksapalan läpimitan tarkastelu riitä otantaa suunniteltaessa. Esitettyjen tulosten mukaan on nimittäin ilmeistä, että etäisyys rungosta vaikuttaa selvästi eräisiin tärkeisiin tunnuksiin myös silloin, kun oksapalan läpimita pidetään vakiona. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että oksien ominaisuuksia tutkittaessa on pidettävä huoli palasten edustavuudesta myös oksien pituus suunnassa. Sinänsä tämä ilmiö ei ole yllättävä. On esimerkiksi oletettavissa, että sekä sydänpuuosuus että lylyn määrä riippuvat läpimitan

lisäksi myös etäisyydestä rungossa. Näitä riippuvuuksia on kuitenkin tutkittu vain vähän.

Tässä tutkimuksessa käytetty laboratorio-tekniikka voitiin todeta tyydyttäväksi tulosten tarkkuuden kannalta. Esim. oksapalasten puuaineen ja kuoren kuiva-tuoretiheyden määrittäminen onnistui ilmeisen hyvin käsiteltäessä oksakappaleita yksi kerrallaan. Ainoa haittapuoli tässä menetelmässä on runsas ajanmenekki, ja kannattaakin harkita ainakin suuremmille oksapaloille kollektiivisten tiheyden määrittämenetelmien käyttöä. — Näistä on tosin aiemmin saatu huonoja kokemuksia pienille jakeille (KÄRKKÄINEN 1976 b). Keskimääräisiin tuloksiin pyrittäessä, jolloin joudutaan käsittelemään suuria oksapalamääriä, tällaisten menetelmien kehittäminen ja käyttö lienee kuitenkin välttämätöntä.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

- BAUR, FRANZ 1879. Untersuchungen über den Festgehalt und das Gewicht des Schichtholzes und der Rinde. Augsburg.
- BENIĆ, ROKO 1974. Neke karakteristike drva jelove granjevine. Summary: Some characteristics of silver fir branchwood. Glasnik za šumske Pokuse 17: 229–252.
- DRAPER, N. R. & SMITH, H. 1968. Applied regression analysis. New York—London—Sydney. (John Wiley & Sons, Inc.).
- ENTŠEV, ENTŠO 1962. Obemno teglo i jakost na natisk na drvecinata na klonite na belija bor, smrtša i elata. Zusammenfassung: Rohwichte und Druckfestigkeit des Astholzes der Weisskiefer, Fichte und Tanne. Nautšni Trudove 10: 177–191.
- FOULGER, A. N. & HARRIS, JOHNNY 1973. Volume of wood, bark, and needles after clear-cutting a lodgepole pine stand. J. For. 71 (2): 93–95.
- GAVA, M. 1974. Contributii la cunoasterea factorilor care influenteaza caderea ramurilor usecate la molid. Revista Padurilor — Industria Lemnului Seria Silvicultura si exploatarea padurilor 89 (1): 8–12.
- GISLERUND, OLAV 1974. Heltreutnyttelse. II. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjørk og or. Summary: Whole tree utilization. II. Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch, and alder. Rapp. Norsk Inst. Skogforsk. 6/74.
- GÖTZE, HORST, GÜNTHER, BERNHARD, LUTHARD, HELMUT & SCHULTZEDEWITZ, GÜNTER 1972. Eigenschaften und Verwertung des Astholzes von Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). 2. Mitteilung. Holztechnologie 13 (1): 20–27.
- 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.
- » — 1969. Weight and composition of the branches of large Scots pine and Norway spruce trees. Lyhennelmä: Järeitten mänty- ja kuusipuitten oksien paino ja koostumus. Commun. Inst. For. Fenn. 67.6.
- » — 1971. Coniferous branches as a raw material source. Tiivistelmä: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Commun. Inst. For. Fenn. 75.1.
- HOSIA, MATTI, LINDHOLM, CARL-ANDERS, TOIVANEN, PEKKA & NEVALAINEN, KAUKO 1971. Undersökningar rörande utnyttjandet av barrträdsgrénar som råmaterial för kemisk massa och hård fiberskiva I. Papperi ja Puu 53 (2): 49–66.
- HOWARD, ELAINE T. 1973. Physical and chemical properties of slash pine tree parts. Wood Sci. 5 (4): 312–317.
- KAMINSKI, E. & JOZEFACIUK, J. 1965. (Certain physical properties of small branchwood of Scots pine, and observations on its drying.) Zesz. nauk. Szkol. Gospod. Wiejsk. Warsz. (Lesn.) (7): 115–129. Ref. FA 28 (2) No. 2814 (1967).
- KEYS, J. L. 1971. Complete-tree utilization. An analysis of the literature. Part III:

Branches. Inform. Rep. For. Prod. Lab., Vancouver VP-X-71.

- KÄRKKÄINEN, MATTI 1976 a. Havutukien kuoren tiheys ja kosteus. Summary: Density and moisture content of bark in pine and spruce logs. Commun. Inst. For. Fenn. 87.5.
- » — 1976 b. Kokopuuhaakkeen tiheyden mittaaminen. Summary: Measurement of basic density of total tree chips. Silva Fenn. 10 (3): 198–211.
- OLESEN, P. O. 1971. The water displacement method. Arboretet Hørsholm For. Tree Improvement 3: 3–23.
- ROZENS, A. 1972. (Some physical and mechanical properties of Norway spruce and Scots pine branchwood.) Latvian Lauksaimniecības Akadēmijas Raksti No. 51, 126–131. Ref. FA 35 (10) No. 6431 (1974).
- SACHSSE, HANNO 1973. Eigenschaftsunterschiede von Buchen-Industrieholz aus Schaft- und Kronenbereich. Holz Roh- u. Werkstoff 31 (8): 299–306.
- SCHULTZE-DEWITZ, GÜNTER, GÖTZE, HORST, GÜNTHER, BERNHARD & LUTHARD, HELMUT 1971. Eigenschaften und Verwertung des Astholzes von Kiefer. 1. Mitteilung. Holztechnologie 12 (4): 213–221.

wertung des Astholzes von Kiefer. 1. Mitteilung. Holztechnologie 12 (4): 213–221.

- SI-mittayksikkösuositus metsäteollisuudelle. 1974. Papperi ja Puu 56 (10): 752–780.
- STATKOV, N., MATEEV, A., MARINOV, T. & STOIKOV, HR. 1970. Hakuutähteet ja niiden käytömahdollisuudet. Suomen Metsäntutkimuslaitoksella kirjasta Drevesni otpadtsi pri setša i perspektivi za tjanoto izpolzuvane. Zemizdat. Sofia.
- WATANABE, HARUTO, TSUTSUMI, JUICHI & KANAGAWA, HIROSHI 1962. Properties of branch wood, especially on specific gravity, tracheid length, and appearance of compression wood. Bull. Kyoto Univ. For. 35 (1): 91–96. (Summary).
- WORSTER, H. E. & VINJE, M. G. 1968. Kraft pulping of Western Hemlock tree crops and branches. Pulp Paper Mag. Can. (7): 57–60.
- YLINEN, AILI 1971. Kuusen oksapuun ominaisuuksista. Puuteknologian laudaturtyö. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Konekirjoite. (Unpublished manuscript).

## SUMMARY:

### DENSITY AND MOISTURE CONTENT OF WOOD AND BARK, AND BARK PERCENTAGE IN THE BRANCHES OF BIRCH, NORWAY SPRUCE, AND SCOTS PINE

The material for this study consists of 1 056 branch samples taken from the branches of birch (*Betula verrucosa* & *B. pubescens* Ehrh.), spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), and pine (*Pinus silvestris* L.) at intervals of 20 cm along each branch. The samples were 5 cm long. The branches originated from small trees to be harvested by total tree chipping methods. Half of the material was used in the determination of the basic density of the wood and bark. This was done by using the water displacement method for measuring the volume, and by weighing the oven-dry weight. The rest of the material was used in the measurement of the bark percentage as calculated from the weight and the moisture content of the wood and bark. The average values for these properties are presented in the tables by various diameter classes. With the exception of the basic density of the bark there was a relationship between all the studied properties and the diameter of the branch sample. The total averages (mean values of branch samples according to the diameter distribution used in this study) are as follows.

	Birch	Spruce	Pine
Green density of wood and bark, kg/m <sup>3</sup> ....	859	883	844
Basic density of wood, kg/m <sup>3</sup> .....	514	547	424
Basic density of bark, kg/m <sup>3</sup> .....	493	348	311
Weight of bark in per cent of green weight of wood and bark ...	32,1	31,2	30,6
Dry weight of bark in per cent of dry weight of wood and bark .....	32,0	31,1	29,5
Moisture content of wood, per cent of dry weight .....	72,5	83,5	111,9
Moisture content of bark, per cent of dry weight .....	72,1	85,8	124,0
Weight of water in one cubic meter of wood, kg/m <sup>3</sup> .....	373	457	474



Weight of water in one  
 cubic meter of bark,  
 kg/m<sup>3</sup> ..... 355      299      386

Apart from the average values for each diameter class, the effect of the distance of the sampling point from the stem was studied. According to the results, many of the properties of the branch

samples change as the distance from the stem increases, although the effect of the decrease in diameter is eliminated. In other words, when one diameter class is analyzed, the properties of the samples depend on the distance of the branch sample from the stem. — These results are presented in Figures 2..7.