

ODC 331:
527: 861.0

FOLIA FORESTALIA 403

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1979

KAIJA KANNINEN, OLLI UUSVAARA JA
PAAVO VALONEN

KOKOPUURAAKA-AINEEN MITTAUS JA
OMINAISUUDET

MEASURING AND PROPERTIES OF WHOLE
TREE RAW-MATERIAL

- 1978 No 335 Juutinen, Paavo: Kuitupuupinot pystynävertäjän (*Tomicus piniperda* L.) lisääntymispaikkoina Pohjois-Suomessa.
Pulpwood stacks as breeding sites for pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern Finland.
- No 336 Kärkkäinen, Matti: Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi.
Methods for measuring the average length of pulpwood bolts estimated during logging by eye.
- No 337 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76.
- No 338 Lähde, Erkki: Väliavarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen.
Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success.
- No 339 Teivainen, Terttu: Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan.
Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments.
- No 340 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Kantokäsittelylaittein varustettujen raivaussahojen vertailua.
Comparison of clearing saws equipped with stump spraying devices.
- No 341 Uusvaara, Olli: Teollisuushakkeen ja purun painomittaus.
Weight scaling of industrial chips and sawdust.
- No 342 Hakkila, Pentti: Pienpuun korjuu polttoaineeksi.
Harvesting small-sized wood for fuel.
- No 343 Paavilainen, Eero: PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
PK-fertilization on drained pine swamps in Lapland. Preliminary results.
- No 344 Lehtonen, Irja, Pekkala, Osmo & Uusvaara, Olli: Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia.
Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and great sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp.
- No 345 Metsätilastollinen vuosikirja 1976.
Yearbook of Forest Statistics 1976.
- No 346 Parviainen, Jari: Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus.
Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase.
- No 347 Vuorinen, Heikki: Metsätraktorin kuljettajan kuormittamisen mittaamahdollisuudet.
Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers.
- No 348 Löyttyniemi, Kari: Metsänlannoituksen vaikutuksesta ytimennävertäjiin (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
Effect of forest fertilization on pine shoot beetles (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae).
- No 349 Metsämuuronen, Markku, Kaila, Simo & Räsänen, Pentti K.: Männyn paakkutaimien alkukehitys vuoden 1973 istutuksissa.
First-year planting results with containerized Scots pine seedlings in 1973.
- No 350 Oikarinen, Matti: Viljelymetsiköiden puuston vaihtelu ja kasvukoealojen edustavuus.
Variations in growing stock in cultivated stands and the representation of growth sample plots.
- No 351 Heikkilä, Risto: Mäntykuitupuupinojen suojaaminen pysynävertäjän iskeytymistä vastaan Pohjois-Suomessa.
Protection of pine pulpwood stacks against the common pine-shoot beetle in northern Finland.
- No 352 Saramäki, Jussi: Kainuun vajaapuustoisten kuusikoiden lannoitus ja sen kannattavuus.
Profitability of fertilization in the understocked spruce stands of Kainuu, Finland.
- No 353 Päivinen, Risto: Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle.
Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch.
- No 354 Järveläinen, Veli-Pekka: Yksityismetsätalouden seuranta. Metsälöötökseen perustuvan tietojärjestelmän kokeilu.
Monitoring the development of Finnish private forestry. A test of an information system based in a sample of forest holdings.
- No 355 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Tutkimuksia haapatukkien mittauksesta ja teknisistä ominaisuuksista.
Studies on the measurement and technical properties of aspen logs.
- No 356 Hyppönen, Mikko & Roiko-Jokela, Pentti: Koepuiden mittauksen tarkkuus ja tehokkuus.
On the accuracy and effectivity of measuring sample trees.
- No 357 Uusitalo, Matti: Alueittaiset kantorahatulot vuosina 1970—75.
Regional gross stumpage earnings in Finland in 1970—75.
- No 358 Mattila, Eero & Helle, Timo: Keski-Suomen poronhoitoalueen talvilaidunten inventointi.
Inventory of winter ranges of semi-domestic reindeer in Finnish Central Lapland.
- No 359 Hannelius, Simo: Istutuskuusikon tiheys — tuotoksen ja edullisuuden tarkastelua.
Initial tree spacing in Norway spruce timber growing — an appraisal of yield and profitability.
- No 360 Jakkila, Jouko & Pohtila, Eljas: Perkauksen vaikutus taimiston kehitykseen Lapissa.
Effect of cleaning on development of sapling stands in Lapland.

FOLIA FORESTALIA 403

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1979

Kaija Kanninen, Olli Uusvaara ja
Paavo Valonen

KOKOPUURAAKA-AINEEN MITTAUS
JA OMINAISUUDET

Measuring and properties of whole
tree raw-material

ODC 331:527:861.0
ISBN 951-40-0407-8
ISSN 0015-5543

KANNINEN, K., UUSVAARA, O. & VALONEN, P. 1979. Kokopuuraaka-
aineen mittaust ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-
tree raw material. *Folia For.* 403:1-53.

Tutkimus jakautuu kolmeen osaan, joista kahdessa ensimmäisessä käsitellään kokopuuraaka-aineen kiintotilavuuden laskentaa pystymittauksen ja pinomittauksen pohjalta. Kolmannessa osassa selvitetään pienpuustosta käytännön työmailla valmistetun kokopuuhakkeen ominaisuuksia.

Koepuuaineiston pohjalta laadittiin ensiharvennuskäynnin ja -kuusen maanpäällisen osan tilavuus- ja tuoremassataulukot Etelä- ja Pohjois-Suomelle. Lämpimittaluokittain laskettiin keskimääräiset käyttöpuuprosentit sekä biomassan ja puuaineen jakauma kuitupuun, runkohukkapuun ja oksien kesken.

Kokopuun pinomittauksessa kokonaisista tai katkaistuista karsimattomista puista ladotun pinon kehystilavuus määritettiin pituus-, leveys- ja korkeusmittausten avulla. Kiintotilavuuteen päästään pinon tiiviyyttä osoittavan muuntoluvun avulla.

Autokuormien tilavuuden mittauksilla välivarastolla ja kuljetuksen jälkeen käyttöpaikalla sekä kuormien punnituksilla selvitetään hakkeen tilavuusyksikön tuore ja kuiva massa sekä kiintotilavuusprosentti. Hakkeen kosteus, biomassan koostumus ja palakokojakauma selvitetään näytteistä.

The study is divided into three parts. The first two parts concern calculation of the solid volume of whole-tree raw material on the basis of measurements carried out on piles or on standing trees. The properties of whole-tree chips prepared from different types of small-sized trees are examined in the third part.

Volume and green weight tables were prepared for early thinning Scots pine and Norway spruce. Separate tables were calculated for southern Finland and for northern Finland. The percentage of merchantable timber and the proportions of the biomass and wood proper present as merchantable timber, waste stemwood and branches were calculated for each diameter class.

The volume of piles prepared from undelimited whole or cross-cut trees was determined from the length, width and height measurements made on the piles. The solid volume can be obtained by applying conversion factors.

The green and dry weights per unit volume of chips and the solid volume percentages were obtained by determining the volume and weight of the truckloads of chips before and after the transport. Samples were taken for the determination of the moisture content of the chips, the composition of the biomass and the particle size distribution of the chips.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	4
2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT	6
21. Pystymittaustutkimus	6
22. Pinomittaustutkimus	7
23. Haketta koskevat tutkimukset	9
3. TULOKSET	10
31. Kokopuuraaka-aineen pystymittaus	10
32. Kokopuuraaka-aineen pinomittaus	23
321. Kokopuupinon kehystilavuuden laskeminen	23
322. Kehystilavuuden muuntaminen kiintotilavuudeksi	23
323. Pinon tiiviyyden vaihtelu	25
324. Kokopuuraaka-aineen pinomittaus käytännössä	27
33. Kokopuuhakkeen puu- ja mittaustekniset ominaisuudet	28
331. Kuljetuksen aiheuttama painuma	28
332. Hakkeen kosteus	29
333. Hakkeen irtotilavuusyksikön massa	30
334. Hakkeen kiintotilavuusprosentti	31
335. Hakkeen koostumus	34
336. Hakkeen palakoko	38
4. KÄYTÄNNÖN NÄKÖKOHTIA	43
5. TIIVISTELMÄ	45
KIRJALLISUUS	47
SUMMARY	49

1. JOHDANTO

Puun koko maanpäällisen osan samanlainen talteenotto ja kokopuuraaka-aineen jalostus- ja energiakäyttö merkitsevät käännteentekevää muutosta metsätalouden perinteisessä käytännössä. Uusi pienpuun korjuu- ja käyttöteknologia edellyttää myös puutavaran mittauksen mukauttamista sen vaatimuksia vastaavaksi.

Jalostuksen kannalta haitallisten tai tarpeettomien komponenttien, kuten oksien, neulasten ja kuoren osuus on pienpuustossa erityisen korkea. Jos kyseessä on toisaalta energiakäyttö, koostumuksen merkitys on vähäinen.

Kokonaisista puista valmistettu hake on raaka-aineena erilaista kuin kuoritusta kuitupuusta tai saha- ja vaneriteollisuudesta sivutuotteena syntyvä hake. Hakkeen koostumus ja ominaisuudet riippuvat puulajin ja puunkoon lisäksi kasvutilasta, kaatoajasta, kaadettujen puitten varastointiajasta ja -tavasta sekä siirtely- ja haketusmenetelmästä.

Korjuumenetelmien ja perinteisen metsäteollisuuden prosessitekniinen kehitys, kemiallisen ja biokemiallisen teollisuuden tuotekehittäminen, työvoimatilanne, energian hinta sekä tuotteitten hinta ja menekki määräävät, millaiseen puustoon kokopuunkäyttö Suomessa tulevaisuudessa kohdistuu. Metsäpään näkökulmasta kokopuuna korjattaviksi soveltuvat etenkin seuraavat leimikkotyypit, joille kaikille on ominaista puitten pieni koko (Hakkila, Leikola & Salakari 1978, s. 13–15):

- vajaan tuottoiset lehtipuuvallaiset metsät ja kitumaitten metsät
- ensiharvennusleimikot
- päätehakkuleimikoitten pienpuusto ja tukkipuitten latvat
- taimistojen perkaus- ja raivauspuu
- tulevaisuuden lyhytkiertoviljelmat.

Suomessa vuonna 1978 käytetyn kokopuuraaka-aineen kiintotilavuus oli 200 000 m³. Se oli lähinnä mäntyä, koivua ja leppää. Kuusta korjattiin kokopuuna vain sekapiuuna. Kuusen kokopuukäyttöä rajoittaa ennen kaikkea neulasten runsaus, joka nykytekni-

kan puitteissa johtaa toisaalta metsämaan ravinnetappioihin ja toisaalta prosessitekniisiin vaikeuksiin.

Kokopuuraaka-aine kuljetetaan yleisimmin välivarastolle pinoon kokonaisina tai 2–3 osaan katkaistuina puina. Kokopuuhakkeeksi käytettävien puiden katkaisukohdat vaihtelevat korjuumenetelmästä riippuen. Esimerkkeinä keväällä 1979 vallinneesta käytännöstä mainittakoon seuraavat: Enso-Gutzeit Oy:llä katkaistaan 7–10 m ja Pellos Oy:llä 12–15 m pitkät puut keskeltä kahtia. Kokonaisina käytettävien puiden enimmäispituus on Osuuskunta Metsäliitolla 6 m ja Kajaani Oy:llä sekä Veitsiluoto Oy:llä 8–10 m.

Vähimmäisrinnankorkeusläpimitaan nähdessä suurimpien käyttäjien välillä vain vähäistä vaihtelua; Enso-Gutzeit Oy, Kajaani Oy ja Pellos Oy 4 cm, Osuuskunta Metsäliitto ja Veitsiluoto Oy 5 cm. Kokopuuraaka-aineen keskimääräisessä rinnankorkeusläpimitassa esiintyy enemmän vaihtelua. Osuuskunta Metsäliitto ilmoittaa keväällä 1979 kokopuuhaketukseen käytettävän pienpuun rinnankorkeusläpimitaksi lehtipuulla keskimäärin 5 cm ja havupuulla 6 cm, Enso-Gutzeit Oy lehtipuulla 5–9 cm ja havupuulla 7–8 cm, Pellos Oy lehtipuulla 7–9 cm, Veitsiluoto Oy 7–8 cm ja Kajaani Oy 8–9 cm.

Kun kuorettoman puun käyttöön suunniteltu ja mitoitettu metsäteollisuus ryhtyi koikeilemaan ja jalostamaan karsimattomana haketettua raaka-ainetta, sen erikoispiirteet aiheuttivat monenlaisia prosessitekniisiä vaikeuksia. Todettiin välttämättömäksi oppia tuntemaan entistä tarkemmin hakkeen ominaisuudet sekä kehittää uusia menetelmiä hakkeen puhtauden parantamiseksi ja puupitoisuuden nostamiseksi (mm. Arola 1973, Arola ja Erickson 1973, Hakkila 1976, Wawer ja Mahendra 1977). Samoin todettiin, että kokopuuraaka-aineen määrän ja arvon määrittäminen edellyttää perinteisen puutavaran mittauksen rinnalle uusia ratkaisuja.

Kokopuuraaka-aineen mittaustulosta tarvitaan useissa eri yhteyksissä. Tietoja raaka-aineen määrästä ja koostumuksesta tarvitaan kantohinnan maksamiseksi metsänomistajalle sekä tehtaan hinnoittelussa ja vastaanotto-mittauksessa. Mikäli kaato, kasaus, kuljetus tai haketus suoritetaan urakkapalkkausta käyttäen, mittaustulosta tarvitaan työpalkkojen määrittämiseksi. Mittauksen tavoitteena voi eri yhteyksissä olla esimerkiksi seuraavien tietojen selvittäminen:

- Raaka-aineen kokonaisbiomassan kiintotilavuus tai massa
- Oksien osuus biomassasta. Tämä on välttämätöntä esimerkiksi silloin, kun mittaukset suoritetaan hakkeena, mutta kantohinnan tai palkkauksen maksuperusteena on runkopuun määrä.
- Biomassan jakaantuminen markkinakelpoisen runkopuun (yleensä havupuu 6 cm/2 m, lehtipuu 7 cm/2 m), hukkarunkopuun ja oksien kesken. Jakaamaa tarvitaan mm. kantohinnan määrittämiseksi, koska eri komponenteista maksetaan eri hinta.
- Raaka-aineen jakautuminen puuaineen, kuoren ja viheraineen kesken. Tämä ratkaisee raaka-aineen soveltuvuuden ja arvon eri käyttökohteissa.

Kokopuuraaka-aineen mittauksessa voidaan käyttää kolmea erilaista mittaustapaa; pystymittausta, pinomittausta ja hakemittausta.

Pystymittaus tapahtuu ennen kaatoa joko mittaamalla kaikkien leimattavien puitten rinnankorkeuslöpimitta sekä eri läpimittaluokkia edustavien koepuitten pituus tai mittaamalla kyseiset tiedot vain ympyräkoealoilta ja muuntamalla tulos leimikon koko pinta-alaa vastaavaksi. Runkopuun ja oksien biomassaa määritetään taulukoista.

Pystymittaus on ainakin runkopuun määrän osalta suhteellisen tarkka. Sen avulla saadaan samalla urakkahinnoittelua varten tarvittavat perustiedot palstoittain. Mutta koska raaka-ainekertymä pinta-alayksikköä kohden jää suuresta runkoluvusta huolimatta pieneksi, pienpuuraaka-aineen pystymittaus tulee rajoitettujen ympyräkoealojenkin puitteissa kalliiksi ja aikaavieväksi. Pystymittaus on lisäksi käyttökelpoton esimerkiksi isännän itsensä keräillessä kokopuuraaka-ainetta tilan eri puolilta välivarastolla ostajalle luovutettavaksi.

Pinomittauksessa määritetään välivarastolla kokonaisista tai katkaistuista, karsimattomista puista ladotun pinon kehystilavuus, josta päästään muuntolukujen avulla edelleen kiintotilavuuteen. Kehysmitta saadaan

pinon etu- ja takapuolelta mitatun keskikorkeuden, etu- ja takapuolelta mitatun keskipituuden sekä keskileveyden tulona. Mikäli sekä leveys että korkeus vaihtelevat epäsäännöllisesti, teoreettisesti tarkempaan kehystilavuuteen päästään kuutioimalla pino määrättyjen pinonosien summalla vastaavalla tavalla.

Raaka-aineen ominaisuuksien johdosta pinomittaus ei voi olla yhtä tarkka kuin pystymittaus ja hakemittaus. Se on kuitenkin käytännössä joustavampi, ja sitä käytettäessä säästytään pystymittauksen korkeilta kustannuksilta. Pinomittausta voidaan käyttää myös isännän luovuttaessa myytäväksi tarkoitettua kokopuuraaka-aineen valmiiksi tehdyissä pinoissa. Se on käyttökelpoinen usein sellaisissakin tapauksissa, joihin hakemittaus ei sovellu oston ja haketuksen välisen viiveen vuoksi.

Kokopuuraaka-aineen *hakemittaus* tapahtuu tehtaalla joko autokuorman irtotilavuuden tai massan perusteella. Tilavuuden mittausta suoritetaan lavan sisämittojen perusteella ottaen huomioon vajaukset ja kohoumat lavan reunasta. Irtotilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi muuntoluvuilla. Massan mittauksessa auto punnitaan ensin kuormineen ja sen jälkeen tyhjänä. Tuoremassasta päästään kosteusnäytteen avulla kuivamassaan, joka voidaan edelleen muuntaa kiintotilavuudeksi.

Kokopuuraaka-aineen hakemittaus on luotettava, koska hake on ominaisuuksiltaan varsin homogeenista tai homogenisoitavissa. Se on helppo toteuttaa ja kustannuksiltaan huokea. Hakemittauksen käytön esteenä saattaa kuitenkin olla viive raaka-aineen oston, puutavaran teon ja haketuksen välillä.

Kokopuuraaka-aineen laadun, ominaisuuksien ja mittauserojen tutkiminen on tähän asti rajoittunut suppeahkoihin selvityksiin, jotka useimmissa tapauksissa ovat syntyneet korjuututkimusten sivutuotteena (mm. H a k k i l a ja M ä k e l ä 1975, H a k k i l a ym. 1975, M ä k e l ä 1975, P e l t o l a 1976, U s s v a a r a 1976, H a k k i l a ym. 1977 ja S i m o l a 1977).

Käsillä oleva työ perustuu Metsäntutkimuslaitoksen ja Suomen Akatemian kokopuun korjuu- ja käyttömenetelmien kehittelyyn tähtäävän työn yhteydessä kerättyyn aineistoon. Aineisto koostuu käytännön työmailta saadusta ensiharvennusmetsien ja vajaatuottois-

ten lehtipuumetsien puustoista, joiden rakenne vaihtelee maan eri osien ja työmaiden välillä.

Tavoitteena on pienten kokopuiden pystymittauksessa tarvittavien kuutioimistaulukoiden ja kehysmittauksen kehittäminen. Lisäksi tutkitaan kokopuuhaakkeen puu- ja mittausteknisiä ominaisuuksia.

Tutkimus suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksessa metsäteknologian tutkimusosastolla. Työn käytännön toteutuksessa on saatu apua useilta yhtiöiltä, joista mainittakoon erityisesti Enso-Gutzeit Oy ja Oy W. Rosenlew Ab. Suomen Akatemia on tukenut työtä rahoituksellaan.

Kenttätöitä johtivat metsätekniikot Hannu Kallaja, Pertti Laakso ja Tauno Oittinen sekä työnjohtaja Erkki Salo. Käsikirjoituksen tarkastivat prof. Pentti Hakki ja vt. prof. Matti Kärkkäinen.

Kirjoittajista Kaija Kanninen on kirjoittanut pinomittausta, Olli Uusvaara hakkeen ominaisuuksia ja Paavo Valonen pystymittausta koskevat osat. Kirjoittajat lausuvat parhaat kiitoksensa kaikille, jotka auttoivat tutkimuksen eri vaiheiden toteuttamisessa.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTOT

21. Pystymittaustutkimus

Pienikokoisen puuston pystymittauksessa tarvittavien kokopuun tuoremassa- ja kuutioimistaulukoiden perustaksi kerättiin koepuuaineistot Etelä- ja Pohjois-Suomesta. Työ jouduttiin rajoittamaan kustannussyistä tässä vaiheessa havupuihin ja niittenkin osalta vain tyyppisimpiin leimikkokohteisiin. Pohjois-Suomen kuusiaineisto kerättiin vajaatuottoisista, avohakkuulla käsiteltävistä pienpuuvaltaisista metsistä. Muu osa aineistosta kerättiin tavanomaisista ensiharvennusleimikoista.

Leimikot kattavat puulajin tavanomaiset kasvupaikat. Koepuuaineiston koko käy ilmi taulukosta 1 ja jakautuminen rinnankorkeusläpimitta- ja pituusluokkiin liitteistä 1 ja 2.

Koepuut kaadettiin ja karsittiin pinnanmyötäisesti. Sen jälkeen niistä mitattiin seuraavat tunnuksat:

- kantoläpimitta, mm
- rinnankorkeusläpimitta, mm
- läpimitta 0,5 ja 1,0 m:n korkeudelta, mm

- läpimitat 1 m:n välein, mm (kuusiaineiston alle 8 m:n pituisista puista läpimitat 0,5 m:n välein, mm)
- pituus, dm
- latvaläpimitaltaan 6 cm täyttävän käyttöosan pituus 2- ja 3-metrinä pölkkyinä
- läpimitaltaan yli 6 cm:n rungon osan pituus, dm
- rungon tuoremassa, kg
- metsään jäävän latvuksen tuoremassa, kg
- oksien tuoremassa, kg

Kustakin leimikosta otettiin läpimittaluokittain lisäksi joitakin koepuita, joista määritettiin näytteiden avulla rungon ja oksien kosteus. Etelä-Suomen kuuselta mitattiin myös neulasten osuus oksien kuivapainosta.

Koepuut kuutioitiin pätkittäin Newtonin kaavalla. Rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta selittävinä muuttujina käyttäen laskettiin aineistosta regressioyhälöt seuraaville tunnuksille:

- rungon tuoremassa
- oksien tuoremassa neulasineen

Taulukko 1. Tuoremassa- ja kuutioimistaulukoita varten kerätyn koepuuaineiston koko ja eräitä puusto-tunnuksia.

Table 1. Size and some parameters of the sample trees used in calculating the green weight and volume tables.

Alue <i>District</i>	Puulaji <i>Species</i>	Leimikoita, kpl <i>Number of stands</i>	Koepuita, kpl <i>Number of trees</i>	D _{1,3} cm <i>Dbh, cm</i>	Pituus, dm <i>Height, dm</i>
Etelä-Suomi <i>Southern Finland</i>	mänty <i>pine</i>	4	486	7,9	78
	kuusi <i>spruce</i>	8	359	8,4	89
Pohjois-Suomi <i>Northern Finland</i>	mänty <i>pine</i>	6	249	8,1	79
	kuusi <i>spruce</i>	3	180	7,7	57

- kokopuun tuoreassa
- rungon tilavuus
- oksien tilavuus neulasineen
- kokopuun tilavuus.

Oksien tilavuus laskettiin rungon tilavuuden ja oksien tuoremassan mittausten pohjalta. Oksien ja rungon tilavuussuhde oletettiin samaksi kuin vastaavien massojen suhde. Taulukoihin kokopuun osuus laskettiin oksien ja runkopuun summasta.

Käyttöosan suhteelliselle osuudelle runkopuusta laskettiin läpimittaluokittaiset keskiarvot.

22. Pinomittaustutkimus

Kokopuupinoista mitattiin pituus, korkeus ja leveys pinomittauksen periaatetta noudattaen (Kuitupuupinon kiintomittaus. . .). Pinoista arvioitiin lumen ja jään määrä sekä ladonta-, oksaisuus- ja mutkaisuusluokat. Lisäksi mitattiin etureunan kylkitiheys, joka määritettiin yli 10 m pitkissä pinoissa joka toisesta korkeudenmittauskohdasta ja alle 10 m pitkissä pinoissa jokaisesta korkeuden mittauskohdasta kolmelta korkeudelta 60,6 cm:n ympyräkehikon sisältä. Ympyrän sisältä laskettiin puuston järeiden tunnuksiksi vielä erikseen kaikki kantoleikkausläpimitat senttimetrin tarkkuudella.

Pinon etu- ja takapituus mitattiin maan rajassa pinon äärimmäisten puiden välimatkana pinon molemmilla puolilla yhden senttimetrin tasaavaa luokitusta käytäten.

Korkeuden mittausta varten pinon etureuna jaettiin pituuden mittauksen yhteydessä 2 metrin pituisiin osiin. Alle 10 metriä pitkät pinot jaettiin vastaavasti metrin pituisiin osiin. Jokaisen pinonosan korkeus mitattiin pituutensa puolivälistä pinon molemmilta puo-

lilta. Korkeus mitattiin kohtisuoraan pituuden mitaussuuntaa vastaan alimman kokopuurivin tasoitetuksi arvioidusta alareunasta yllmän tasoitetuksi arvioidun kokopuurivin yläreunaan yhden senttimetrin tasaavaa luokitusta käyttäen. Pinon takareunan korkeuden mittauksessa otettiin huomioon lisäksi kysymyksessä olevan pinonosan leveyden tasointu korkeuteen.

Pinon leveys mitattiin etu- ja takakorkeuden mittauskohtien välisenä etäisyytenä yhden senttimetrin tasaavaa luokitusta käyttäen. Takareunan korkeudenmittauskohdan ulkopuolelle jääneet ylipitkät latvapäättä sovitettiin silmävaraisesti kyseessä olevan pinonosan korkeuteen.

Pinon toiseen päähän voi jäädä alle 2 metrin (alle 10-metrisissä pinoissa alle 1 metrin) pituinen pinonosa, joka oli usein muodoltaan epäsäännöllinen. Tämä mitattiin erikseen. *Viimeisen pinonosan* pituus mitattiin ensin pinon etupuolelta. Takapituus mitattiin korkeuteen tasoittaen yhtä pitkäksi kuin etupituus. Viimeisen pinonosan korkeus ja leveys mitattiin pituutensa puolivälistä samoin kuin pinon muista osista.

Kustakin pinosta saadun hakkeen irtotilavuus ja massa mitattiin luvussa 23 kuvatulla tavalla. Niitten pohjalta laskettiin pinosta talteen saadun raaka-aineen kiintotilavuus. Lisäksi tehtiin suppeita punnituksia, joilla pyrittiin selvittämään haketusvaiheessa hukkaan joutuneen raaka-aineen määrä.

Tutkimusaineisto kerättiin Enso-Gutzeit Oy:n työmailta Juvalta 28. 1.-22. 2. 1977, Imatralta ja Parikkalasta 29. 9. 1977-9. 1. 1978 sekä Oy W. Rosenlew Ab:n työmailta Porista 16. 3.-23. 6. 1977. Aineisto käsittää kaikkiaan 45 mäntypinoja, 10 koivupinoja ja 14 harmaaleppäpinoja eli yhteensä 69 kokopuupinoja. Kokopuiden kaato-, lähikuljetus- ja haketusajat työmaittain esitetään taulukossa 2.

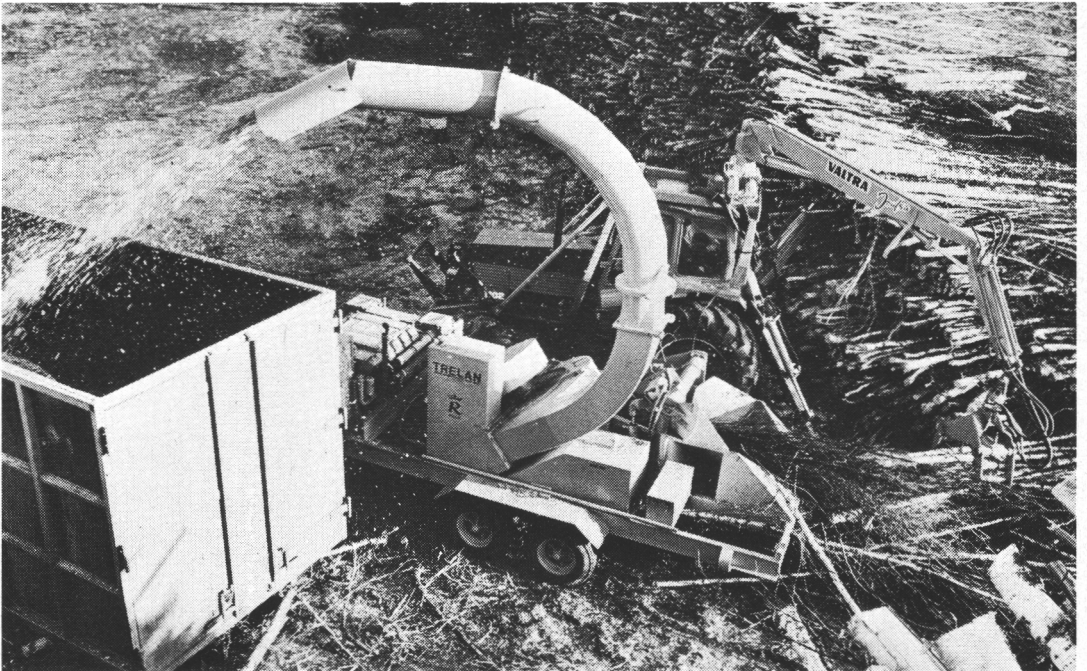
Taulukko 2. Pinomittausaineiston kaato-, lähikuljetus- ja haketusajat työmaittain.

Table 2. *Felling, forwarding and chipping dates of the pile measurement material at various work sites.*

Puulaji <i>Species</i>	Työmaa <i>Work site</i>	Kaato <i>Felling</i>	Lähikuljetus <i>Forwarding</i>	Haketus <i>Chipping</i>	Hakkuri <i>Chipper</i>
Kuukausi ja vuosi - <i>Month and year</i>					
Mänty-Pine	Pori	I/1977- IV/1977	IV/1977- V/1977	V/1977- VI/1977	Trelan
Mänty-Pine	Imatra	IX/1977	IX/1977- X/1977	X/1977	TT 1000 F
Mänty-Pine	Juva	VIII/1976- X/1976	VIII/1976- X/1976	I/1977- II/1977	TT 1500 T TT 1500 L Algol
Koivu-Birch	Pori	XI/1976	XII/1976- I/1977	III/1977	Trelan
Leppä-Alder	Parikkala	X/1976	IX/1977	XII/1977- I/1978	TT 1500 T TT 1500 L



Kuva 1. Kokopuupino.
Fig. 1. *Whole-tree pile.*



Kuva 2. Kokopuiden haketusta varastohakkurilla auton kuormatilaan.
Fig. 2. *Chipping of whole-trees by landing chipper into loading space of truck.*

23. Haketta koskevat tutkimukset

Kenttätöyt suoritetiin lähes kaikkien vuosina 1977–1978 kokopuuhaketta jalostaneitten teollisuuslaitosten työmailla sekä talviolioissa että sulan puun aikana. Mittaukset, punnitukset ja näytteenotto tapahtuivat pääasiassa hakkeen autokuljetuksen yhteydessä. Ajouralla tai välivarastolla toimiva hakkuri haketti ja kuormasi kokonaisista puista valmistetun hakkeen auton kuormatilaa (kuva 2).

Lava pyrittiin täyttämään laidan tasalle, jolloin tuntemalla kuormatilan mitat todettiin kuorman tilavuus. Ellei näin voitu tehdä, päältä tasoitun kuorman korkeus mitattiin kymmenestä eri kohdasta, jotka olivat aina samat. Auto punnittiin, mikäli mahdollista, autovaa'alla kuljetuksen jossakin vaiheessa sekä kuormineen että tyhjänä. Kun kuormat tasoitettiin ja mitattiin myös perillä, voitiin kuormatilan mittojen, painuman ja kuorman massan perusteella laskea hakkeen irtotilavuus ja irtotilavuusyksikön massa ennen kuljetusta ja sen jälkeen.

Purkamisen yhteydessä kustakin kuormasta otettiin kosteuden määrittystä varten useasta pienestä erästä koostuva 20 dm³:n hakenäyte, joka sekoitettiin säkisä. Tästä homogenisoidusta erästä erotettiin lopullinen 4 dm³ näyte. Mikäli kuorma oli sateessa kastunut, edellä mainittua näytettä ei katsottu riittäväksi, vaan näyteyksiköiden määrää lisättiin ja lopulliseksi näyteksi otettiin kaksinkertainen määrä haketta.

Kosteuden määrittystä varten kerätystä erästä ylijäänyt osa, noin 15 dm³, käytettiin hakkeen palakokojakauman ja biomassan koostumuksen määrittämiseen. Tällainen näyte otettiin isoilla työmailla joka kolmannelta kuormasta ja pienemmillä työmailla jokaiselta tai joka toiselta kuormasta.

Tutkimuksessa pyrittiin tarkastelemaan käytännön työmailla kaikkia tutkimusajankohtana käytössä olleita kokopuuhakkureita, jotka olivat seuraavat. Koneiden teknisten tietojen ja käyttöominaisuuksien osalta viitataan seuraaviin julkaisuihin: K a l a j a (1976a, 1976b ja 1978), S i m o l a (1976), H a k k i l a ym. (1977), M e l k k o (1977).

TT 1000 F	palstahakkuri
TT 1500 L	varastohakkuri
TT 1500 T	— " —
Trelan D-60	— " —
Algol	— " —

Puuston laadun ja haketusolojen vaikutus hakkeen ominaisuuksiin pyrittiin selvittämään mahdollisimman tarkasti. Koska kaatoaika, varastoimis aika ja -tapa sekä siirtely vaikuttavat mm. lehtien ja neulasten määrään sekä kuoren murentumiseen haketuksessa, tiedot kerättiin haketuserittäin. Viheraineiden väristä ja varisemisasteesta tehtiin muistiinpanot seuraavaa luokitusta käyttäen.

Luokka	Viheraineesta varissut, %
0	0
1	1– 30
2	31– 90
3	91–100

Puustosta määriteltiin puulajisuhteet, rinnankorkeusläpimitta ja ikä. Mittaukset suoritettiin ottamalla näyte kasan päältä sen eri kohdista ja haketuksen edistyessä myös kasan sisäosista.

Haketuksessa tehtiin muistiinpanoja terien vaihtojajoista, kuormakohtaisesta haketusajasta, säätelästä ym. haketuksen liittyvistä tekijöistä.

Hakenäytteet seulottiin sekä reikä- että rakoseuloin normaalin käytännön mukaisesti (S a u k k o n e n 1971). Osa reikäseulontanäytteistä valittiin edelleen hakkeen koostumuksen tarkasteluun. Näyte otettiin siten, että yli 32 mm:n jakeesta erotettiin kaikki ja 25, 19, 16, 13 ja 6 mm:n seulalevyjen jakeista 3 dl:n ja 3 mm:n jakeesta 2 dl:n määrästä puuaines, rungon ulkoiset oksat, viheraine sekä palloissa kiinni ja irti oleva kuoriosuus erikseen. Tulosten käsittelyn yhteydessä 16 ja 13 mm:n seulontajakeet kuitenkin yhdistettiin pituusjakauman luokkavälien tasoittamiseksi. Alle 3 mm:n hienojaetta ei analysoitu. Näytteet kuivattiin lämpökaapissa ja punnittiin.

Eräistä seulontanäytteistä tutkittiin lisäksi jakeittain hakepalojen todellinen pituus- ja leveysjakauma ja verrattiin sitä Williams-seulonnan tulokseen (vrt. M ä k e l ä 1977). Tällöin eri seulalevyille kertyneistä hakepaloista mitattiin käsin palojen todelliset syiden suuntaiset pituudet ja syiden poikkisuuntaiset leveydet sekä rungon ulkopuolisten oksien pituudet.

Hakeaineisto kerättiin kaikkiaan kuudelta tehtaalta, joista kolme käytti hakkeen sellun, kaksi kuitu- ja lastulevyjen ja yksi furfuraalin raaka-aineeksi. Aineisto jakaantui tehtaiden kesken seuraavasti.

Tehtaspaikkakunta	Työmaita, kpl		Punnittuja kuormia, kpl	
	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi
Imatra	9	1	22	20
Pori	4	3	65	64
Pihlava	..	1	11	11
Kitee	6	16	10	22
Kuopio	..	6	..	2
Kemijärvi	2	3	27	15
Yhteensä	21	30	124	134

Kosteusnäytteitä käsiteltiin 278 ja seulontanäytteitä 134 kpl. Eri komponenttien osuus määritettiin 85:stä ja todellinen palapituus- ja -leveysjakauma 9:stä näytteestä.

Aineisto jakautuu puulajeittain siten, että havuhaketta oli 104, lehtipuuhaketta 168 ja näiden sekoitus-

ta 42 kuormaa eli yhteensä 314 kuormaa. Havuhake oli melkein pelkästään mäntyä. Lehtipuuhakkeesta suurin osa oli koivua, mutta muitakin lehtipuita, pääasiassa leppää, esiintyi sekapuuna. Hake laskettiin puhtaaksi havu- tai lehtipuuksi, jos jomman kumman osuus oli vähintään 85 %. Havu-lehtipuuhakkeesta suurin osa oli lehtipuuta, lähinnä koivua (kuvat 7 ja 8). Vertailuksi aineistoon otettiin mukaan joitakin kuormia mänty- ja leppärunkaa.

Puuston ikä ja läpimitta olivat keskimäärin seuraavat:

	Ikä, a	D _{1,3} , cm
Lehtipuusto	26 (15–40)	6,2
Havupuusto	39 (19–60)	7,3

3. TULOKSET

31. Kokopuuraaka-aineen pystymittaus

Pienikokoisen männyn ja kuusen maanpäällisen osan tuoremassa ja tilavuus voidaan kokopuuraaka-aineen pystymittauksessa määrittää seuraavista yhtälöistä. Niitä käytettäessä on tunnettava puun pituus ja rinnankorkeusläpimitta.

Etelä-Suomen ensibarvennusmänniköt

Tuoremassa, kg:	100 · R ² s, %	
Runko y ₁ = 0,098 · x ₁ ^{1,8851} · x ₂ ^{0,7178}	97,5	6,4
Oksat y ₁ = 0,210 · x ₁ ^{2,9553} · x ₂ ^{-1,1884}	92,5	16,3
Koko- puu y ₁ = 0,218 · x ₁ ^{2,1917} · x ₂ ^{0,1852}	97,2	6,0
Tilavuus, dm ³ :		
Runko y ₂ = 0,095 · x ₁ ^{1,9185} · x ₂ ^{0,7381}	98,9	4,2
Oksat y ₂ = 0,218 · x ₁ ^{2,9712} · x ₂ ^{-1,1760}	92,8	15,5
Koko- puu y ₂ = 0,224 · x ₁ ^{2,2067} · x ₂ ^{0,1991}	98,2	4,7

Pohjois-Suomen ensibarvennusmänniköt

Tuoremassa, kg:	100 · R ² s, %	
Runko y ₁ = 0,129 · x ₁ ^{1,9265} · x ₂ ^{0,5685}	98,8	5,1
Oksat y ₁ = 0,154 · x ₁ ^{2,6338} · x ₂ ^{-0,80532}	95,8	16,1
Koko- puu y ₁ = 0,22 · x ₁ ^{2,1122} · x ₂ ^{0,25004}	98,8	4,6
Tilavuus, dm ³ :		
Runko y ₂ = 0,0942 · x ₁ ^{1,9671} · x ₂ ^{0,7005}	99,4	3,4
Oksat y ₂ = 0,1286 · x ₁ ^{2,6531} · x ₂ ^{-0,7073}	95,9	15,8
Koko- puu y ₂ = 0,1794 · x ₁ ^{2,1313} · x ₂ ^{0,3563}	99,3	3,6

Havupuusto oli siis hieman vanhempaa sekä kookkaampaa kuin lehtipuusto. Havupuuston iän yläraja koskee vain Etelä- ja Keski-Suomen alueita, sillä Pohjois-Suomen työmailla puuston ikä saattoi runkojen pienestä koosta huolimatta nousta 100 vuoteen asti.

Autokuljetusmatkan keskiarvo oli 67 km vaihtelurajojen ollessa 4–167 km. Kuorman irtotilavuus, kun veto- ja perävaunuyhdistelmä lasketaan yhdeksi kuormaksi, oli keskimäärin 62,8 m³ ja vaihtelurajat 35,0–89,2 m³. Täysperävaunullinen ajoneuvoyhdistelmä, joka on yleisin etenkin pitkien matkojen hakekuljetuksissa, oli tilavuudeltaan keskimäärin 77,4 m³.

Etelä-Suomen ensibarvennuskusikot

Tuoremassa, kg:	100 · R ² s, %	
Runko y ₁ = 0,09938 · x ₁ ^{1,9413} · x ₂ ^{0,66018}	98,6	3,3
Oksat y ₁ = 0,18924 · x ₁ ^{2,9845} · x ₂ ^{-0,97700}	84,9	13,5
Koko- puu y ₁ = 0,24242 · x ₁ ^{2,2490} · x ₂ ^{0,13901}	96,9	4,3
Tilavuus, dm ³ :		
Runko y ₂ = 0,7877 · x ₁ ^{1,9302} · x ₂ ^{0,79465}	99,3	2,6
Oksat y ₂ = 0,15031 · x ₁ ^{2,9743} · x ₂ ^{-0,84382}	86,5	13,0
Koko- puu y ₂ = 0,19330 · x ₁ ^{2,2345} · x ₂ ^{0,27476}	97,7	3,9

Pohjois-Suomen vajaatuottoiset kusikot

Tuoremassa, kg:	100 · R ² s, %	
Runko y ₁ = 0,1333 · x ₁ ^{1,7266} · x ₂ ^{0,70112}	98,5	3,8
Oksat y ₁ = 0,11946 · x ₁ ^{2,3197} · x ₂ ^{-0,17348}	82,6	16,2
Koko- puu y ₁ = 0,25167 · x ₁ ^{1,9462} · x ₂ ^{0,36825}	95,8	5,2
Tilavuus, dm ³ :		
Runko y ₂ = 0,10838 · x ₁ ^{1,8202} · x ₂ ^{0,77154}	99,5	2,4
Oksat y ₂ = 0,0967 · x ₁ ^{2,4135} · x ₂ ^{-0,10316}	85,7	14,7
Koko- puu y ₂ = 0,20423 · x ₁ ^{2,0398} · x ₂ ^{0,43871}	97,3	4,2

y ₁	= Tuoremassa, kg
y ₂	= Tilavuus, dm ³
x ₁	= D _{1,3} , cm
x ₂	= Puun pituus, m
100 · R ²	= Selitysaste, %
s	= Yhtälön selittämätön jäännöshajonta, %

Yhtälöillä lasketuista taulukoista havaitaan kuten aiemmissakin tutkimuksissa (H a k k i l a 1969, H a k k i l a ym. 1978), että puun pituuden kasvaessa samassa läpimittaluokassa oksien biomassa vähenee.

Taulukoiden 3–10 perusteella voidaan

määrittää kuusikosta tai männiköstä poistettavan pienpuuston maanpäällisen biomassan tuoremassa ja tilavuus. Maastossa on ensin mitattava joko koko palstalta tai koaloilta poistettavan puuston läpimitta- ja pituustiedot.

Taulukko 3. Ensiharvennuskannan maanpäällisen osan tuoremassa Etelä-Suomessa.

Table 3. The green weight of above-ground biomass of young Scots pine trees in southern Finland.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Pituus, m - Height, m																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	Runko, kg - Stem, kg																	
2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3													
3	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,1												
4		2,9	3,6	4,3	4,8	5,4	6,0											
5		4,5	5,5	6,5	7,4	8,2	9,1	9,1										
6			7,8	9,1	10,4	11,6	12,8	13,9	15,0	16,1								
7			10,4	12,2	13,9	15,5	17,1	18,6	20,1	21,5								
8				15,7	17,9	20,0	21,0	23,9	25,8	27,6	29,4							
9				19,6	22,3	24,9	27,4	29,9	32,2	34,5	36,7							
10					27,2	30,4	33,5	36,4	39,3	42,1	44,8	47,4						
11					32,6	36,4	40,1	43,6	47,0	50,3	53,6	56,8	59,9					
12						42,9	47,2	51,4	55,4	59,3	63,1	66,9	70,5	74,1				
13							54,9	59,7	64,4	69,0	73,4	77,8	82,0	86,2	90,3			
14							63,1	68,7	74,1	79,3	84,4	89,4	94,3	99,1	103,8	108,4		
15							71,9	78,2	84,4	90,3	96,1	101,8	107,4	112,8	118,2	123,5		
16								88,3	95,3	102,0	108,6	115,0	121,3	127,4	133,5	139,4		
17								99,0	106,8	114,4	121,7	128,9	136,0	142,9	149,6	156,3	162,8	
18								110,3	118,9	127,4	135,6	143,6	151,4	159,1	166,7	174,1	181,4	
	Oksat, kg - Branches, kg																	
2	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1													
3	1,5	1,3	1,0	0,8	0,6	0,4												
4		2,7	2,3	1,8	1,5	1,1	0,7											
5		4,6	4,1	3,5	2,9	2,4	1,8	1,3										
6			6,5	5,8	5,0	4,3	3,5	2,7	2,0	1,2								
7			9,7	8,7	7,7	6,7	5,7	4,7	3,7	2,7								
8				12,3	11,1	9,8	9,6	7,3	6,0	4,8	3,5							
9				16,7	15,2	13,7	12,2	10,5	9,0	7,5	5,9							
10					20,0	18,2	16,3	14,5	12,6	10,7	8,9	7,1						
11					25,6	23,5	21,3	19,1	17,1	14,8	12,6	10,4	8,2					
12						29,6	27,1	24,5	22,0	19,5	17,0	14,4	11,9	9,4				
13							33,6	30,8	27,9	24,9	22,0	19,1	16,2	13,3	10,4			
14							41,1	37,7	34,4	31,2	27,9	24,0	21,2	17,9	14,6	11,4		
15							49,3	45,6	41,9	38,2	34,5	30,8	27,0	23,3	19,5	15,8		
16								54,3	50,1	46,0	41,8	37,7	33,5	29,4	25,2	21,1		
17								63,9	59,3	54,7	50,1	45,5	40,8	36,2	31,6	27,0	22,4	
18								74,3	69,4	64,2	62,2	54,1	49,0	43,9	38,7	33,6	28,5	
	Runko ja oksat, kg - Stem and branches, kg																	
2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4													
3	2,5	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5												
4		5,6	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7											
5		9,1	9,6	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2										
6			14,3	14,9	15,4	15,9	16,3	16,6	17,0	17,3								
7			20,1	20,9	21,6	22,2	22,8	23,3	23,8	24,2								
8				28,0	29,0	29,8	30,6	31,2	31,8	32,4	32,9							
9				36,3	37,5	38,6	39,6	40,4	41,2	42,0	42,6							
10					47,2	48,6	49,8	50,9	51,9	52,8	53,7	54,5						
11					58,2	59,9	61,4	62,7	64,0	65,1	66,2	67,2	68,1					
12						72,5	74,3	75,9	77,4	78,8	80,1	81,3	82,4	83,5				
13							88,5	90,5	92,3	93,9	95,4	96,9	98,2	99,5	100,7			
14							104,2	106,4	108,5	110,5	112,3	113,4	115,5	117,0	118,4	119,8		
15							121,2	123,8	126,3	128,5	130,6	132,6	134,4	136,1	137,7	139,3		
16								142,6	145,4	148,0	150,4	152,7	154,8	156,8	158,7	160,5		
17								162,9	166,1	169,1	171,8	174,4	176,8	179,1	181,2	183,3	185,2	
18								184,6	188,3	191,6	194,8	197,7	200,4	203,0	205,4	207,7	209,9	

Taulukko 4. Ensiharvennumännyn maanpäällisen osan tuoremassa Pohjois-Suomessa.
 Table 4. The green weight of above-ground biomass of young Scots pine trees in northern Finland.

D _{1,3} , cm D _{bb} , cm	Pituus, m - Height, m																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	Runko, kg - Stem, kg																	
2	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4													
3		2,0	2,4	2,7	3,0	3,2												
4			3,5	4,1	4,7	5,2	5,6	6,1										
5			5,4	6,3	7,2	7,9	8,7	9,3	10,0									
6				9,0	10,2	11,3	12,3	13,3	14,2	15,1	15,9							
7				12,0	13,7	15,2	16,6	17,9	19,1	20,3	21,4							
8					17,7	19,6	21,4	23,1	24,7	26,2	27,7	29,1						
9						22,2	24,6	26,9	29,0	31,0	32,9	34,8	36,5					
10							30,2	32,9	35,5	38,0	40,3	42,6	44,7	46,8				
11						36,2	39,6	42,7	45,6	48,5	51,2	53,7	56,2	58,7				
12							46,8	50,5	54,0	57,3	60,5	63,6	66,5	69,4	72,2			
13								54,6	58,9	63,0	66,8	70,6	74,2	77,6	80,9	84,2	87,3	
14									63,0	67,9	72,6	77,1	81,4	85,5	89,5	93,4	97,1	
15										77,6	82,9	88,1	93,0	97,7	102,2	106,6	110,9	
16											87,8	93,9	105,3	110,6	115,8	120,8	125,6	
17												98,7	105,6	112,1	118,3	124,3	130,1	
18													110,2	117,9	125,1	132,1	138,8	
	Oksat, kg - Branches, kg																	
2	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2													
3		1,1	0,9	0,8	0,7	0,6												
4			2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1										
5				4,4	3,5	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8								
6					5,7	4,7	4,1	3,6	3,2	2,9	2,7	2,5						
7						8,5	7,1	6,1	5,4	4,9	4,4	4,1	3,8					
8							10,1	8,7	7,7	6,9	6,3	5,8	5,3	5,0				
9								13,7	11,9	10,5	9,4	8,6	7,9	7,3	6,8			
10									15,7	13,8	12,4	11,3	10,4	9,6	9,0	8,4		
11						20,1	17,8	16,0	14,5	13,3	12,4	11,5	10,8	10,2				
12							22,4	20,1	18,3	16,8	15,5	14,5	13,6	12,8	12,1			
13								27,6	24,8	22,5	20,7	19,2	17,9	16,8	15,8	14,9	14,2	
14									33,5	30,1	27,4	25,2	23,3	21,7	20,4	19,2	18,2	
15										36,1	32,9	30,2	28,0	26,1	24,4	23,0	21,8	
16											42,8	38,9	35,8	33,1	30,9	29,0	27,3	
17												50,2	45,7	42,0	38,9	36,2	34,0	
18													58,4	53,1	48,8	45,2	42,1	
	Runko ja oksat, kg - Stem and branches, kg																	
2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6													
3		3,1	3,3	3,5	3,7	3,8												
4			5,9	6,0	6,3	6,8	7,2											
5				9,8	9,8	10,1	10,4	10,9	11,3	11,8								
6					14,7	14,9	15,4	15,9	16,5	17,1	17,8	18,4						
7						20,5	20,8	21,3	22,0	22,8	23,5	24,4	25,2					
8							27,8	28,3	29,1	30,0	31,0	32,0	33,0	34,1				
9								35,9	36,5	37,4	38,4	39,6	40,8	42,1	43,3			
10									45,9	46,7	47,9	49,3	50,7	52,2	53,7	55,2		
11										56,3	57,4	58,7	60,1	61,8	63,6	65,2	67,0	
12											69,2	70,6	72,3	74,1	76,0	78,1	80,1	
13												82,2	83,7	85,5	87,5	89,8	92,1	
14													96,5	98,0	100,0	102,3	104,7	
15														113,7	115,8	118,3	121,0	
16															130,6	132,8	135,5	
17																148,9	151,3	
18																	168,6	

Taulukko 5. Ensiharvennuskuisen maanpäällisen osan tuoremassa Etelä-Suomessa.

Table 5. The green weight of above-ground biomass of young Norway spruce trees in southern Finland.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Pituus, m - Height, m																
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
	Runko, kg - Stem, kg																
3	1,7	2,1															
4	3,0	3,7	4,2														
5		5,6	6,5	7,4	8,2												
6			9,3	10,5	11,6	12,7	13,7										
7			12,6	14,2	15,7	17,1	18,5	19,9									
8			16,3	18,4	20,3	22,2	24,0	25,7	27,4								
9				23,1	25,6	27,9	30,2	32,4	34,5	36,5							
10					31,4	34,3	37,0	39,7	42,3	44,8	47,2						
11						41,2	44,6	47,8	50,9	53,9	56,8	59,6					
12							52,8	56,6	60,2	63,8	67,3	70,6	73,9				
13								66,1	70,4	74,5	78,6	82,5	86,3	90,1			
14									81,2	86,0	90,7	95,3	99,7	104,0	108,3		
15										98,4	103,7	108,9	114,0	119,0	123,8		
	Oksat, kg - Branches, kg																
3	1,7	1,3															
4	4,1	3,1	2,5														
5		6,0	4,8	4,0	3,4												
6			8,3	6,9	5,9	5,2	4,6										
7			13,1	10,9	9,4	8,3	7,4	6,6									
8			19,5	16,3	14,0	12,3	11,0	9,9	9,0	8,3							
9				23,2	19,9	17,5	15,6	14,1	12,8	11,8							
10					27,3	23,9	21,3	19,3	17,5	16,1	14,9						
11						31,8	28,4	25,6	23,3	21,4	19,8	18,4					
12							36,8	33,2	30,2	27,8	25,7	23,9	22,3				
13								42,1	38,4	35,3	32,6	30,3	28,3	26,6			
14									47,9	44,0	40,7	37,8	35,4	33,2	31,3		
15										54,0	50,0	46,5	43,5	40,8	38,5		
	Runko ja oksat, kg - Stem and branches, kg																
3	3,4	3,4															
4	7,1	6,8	6,7														
5		11,6	11,3	11,4	11,6												
6			17,6	17,4	17,5	17,9	18,3										
7			25,7	25,1	25,1	25,4	25,9	26,5									
8			35,8	34,7	34,3	34,5	35,0	35,6	36,5	37,3							
9				46,3	45,5	45,4	45,8	46,5	47,3	48,3							
10					58,7	58,2	59,3	59,0	59,8	60,9	62,1						
11						73,0	73,0	73,4	74,2	75,3	76,6	78,0					
12							89,6	89,8	90,4	91,6	93,0	94,5	96,2				
13								108,2	108,8	109,8	111,2	112,8	114,6	116,7			
14									129,1	130,0	131,4	133,1	135,1	137,2	139,6		
15										152,4	153,7	155,4	157,5	159,8	162,8		

Taulukko 6. Vajaatuottoisen, pienikokoisen kuusen maanpäällisen osan tuoremassa Pohjois-Suomessa.
 Table 6. The green weight of above-ground biomass of underproductive small-sized Norway spruce trees in northern Finland.

D _{1,3} , cm Dbb, cm	Pituus, m – Height, m											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Runko, kg – Stem, kg											
3	1,4	1,9										
4		3,2	3,9									
5		4,6	5,7	6,6								
6			7,8	9,1	10,3							
7			10,1	11,9	13,5	15,0						
8				14,9	17,0	18,9	20,8					
9				18,3	20,8	23,2	25,4	27,6				
10					24,9	27,8	30,5	33,1				
11					29,4	32,8	36,0	39,1				
12						38,1	41,8	45,4	48,9			
13						43,7	48,0	52,1	56,1	60,0		
14						49,7	54,6	59,3	63,8	68,2	72,5	
15							61,5	66,8	71,9	76,8	81,7	
	Oksat, kg – Branches, kg											
3	1,4	1,3										
4		2,5	2,3									
5		4,1	3,9	3,8								
6			6,0	5,8	5,6							
7			8,6	8,2	8,0	7,8						
8				11,2	10,9	10,6	10,4					
9				14,8	14,3	13,9	13,6	13,3				
10					18,3	17,8	17,4	17,0				
11					22,8	22,2	21,7	21,3				
12						27,2	26,5	26,0	25,5			
13						32,7	32,0	31,3	30,7	30,2	29,8	
14						38,8	38,0	37,2	36,5	35,9	35,4	
15							44,5	43,6	42,8	42,1	41,5	
	Runko ja oksat, kg – Stem and branches, kg											
3	2,8	3,2										
4		5,7	6,2									
5		8,7	9,6	10,4								
6			13,8	14,9	15,9							
7			18,7	20,1	21,5	22,8						
8				26,1	27,9	29,5	31,2					
9				33,1	35,1	37,1	39,0	40,9				
10					43,2	45,6	47,9	50,1				
11					52,2	55,0	57,7	60,4				
12						65,3	68,3	71,4	74,4			
13						76,4	80,0	83,4	86,8	90,2		
14						88,5	92,6	96,5	100,3	104,1	107,9	
15							106,0	110,4	114,7	118,9	123,2	

Taulukko 7. Ensiharvennumännyn maanpäällisen osan tilavuus Etelä-Suomessa.
 Table 7. Volume of above-ground biomass of young Scots pine trees in southern Finland.

D _{1,3} , cm Dbb, cm	Pituus, m - Height, m																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	Runko, dm ³ - Stem, dm ³																	
2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4													
3	1,3	1,8	2,2	2,6	2,9	3,3												
4		3,1	3,8	4,5	5,1	5,7	6,3											
5		4,7	5,8	6,8	7,8	8,8	9,7	10,6										
6			8,2	9,7	11,1	12,4	13,7	15,0	16,2	17,4								
7			11,1	13,0	14,9	16,7	18,4	20,1	21,7	23,3								
8				16,8	19,3	21,6	23,8	26,0	28,1	30,1	32,1							
9				21,0	24,1	27,1	29,9	32,6	35,2	37,8	40,3							
10					29,6	33,1	36,5	39,9	43,1	46,2	49,3	52,3						
11					35,5	39,8	43,9	47,9	51,7	55,5	59,2	62,8	66,3					
12						47,0	51,9	56,6	61,1	65,6	69,9	74,2	78,4	82,5				
13							60,5	65,9	71,3	76,5	81,6	86,5	91,4	100,8				
14							69,7	76,0	82,2	88,2	94,0	99,7	105,3	110,8	116,2	121,6		
15							79,6	86,8	93,8	100,6	107,3	113,8	120,2	126,5	132,7	138,8		
16								97,2	106,2	113,9	121,5	128,8	136,1	143,2	150,2	157,1		
17								110,3	119,3	127,9	136,4	144,7	152,9	160,9	168,7	176,4	184,0	
18								123,1	133,1	142,8	152,2	161,5	170,6	179,5	188,3	196,9	205,4	
	Oksar, dm ³ - Branches, dm ³																	
2	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1													
3	1,6	1,4	1,1	0,9	0,7	0,4												
4		2,8	2,5	2,1	1,7	1,3	1,1											
5		5,0	4,5	4,0	3,4	2,7	2,1	1,5										
6			7,4	6,4	5,6	4,8	4,0	3,1	2,3	1,4								
7			10,5	9,6	8,6	7,5	6,4	5,3	4,3	3,3								
8				13,6	12,2	10,9	9,5	8,1	6,8	5,4	4,0							
9				18,4	16,7	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	6,6							
10					21,9	20,0	18,1	15,9	13,9	11,9	9,8	7,8						
11					28,1	25,8	23,4	21,0	18,7	16,2	13,8	11,4	9,0					
12						32,4	29,7	26,9	24,2	21,3	18,5	15,6	12,8	9,9				
13							36,8	33,7	30,4	27,2	23,9	20,7	17,4	14,1	10,9			
14							44,9	41,3	37,6	33,9	30,3	26,5	22,8	19,1	15,4	11,6		
15							53,9	49,8	45,7	41,6	37,4	33,8	29,0	24,8	20,5	16,3		
16								59,3	54,7	50,1	45,3	40,7	35,8	31,2	26,5	21,7		
17								69,8	64,6	59,5	54,3	49,1	43,8	38,5	33,2	28,0	22,7	
18								81,2	75,5	69,8	64,1	58,3	52,5	46,7	40,8	35,0	29,1	
	Runko ja oksat, dm ³ - Stem and branches, dm ³																	
2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5													
3	2,9	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7												
4		5,9	6,3	6,6	6,8	7,0	7,2											
5		9,7	10,3	11,2	11,5	11,8	12,1											
6			15,4	16,1	16,7	17,2	17,7	18,1	18,5	18,8								
7			21,6	22,6	23,5	24,2	24,8	25,4	26,0	26,5								
8				30,4	31,5	32,5	33,3	34,1	34,9	35,5	36,1							
9				39,4	40,8	42,1	43,2	44,3	45,2	46,1	46,9							
10					51,5	53,1	54,6	55,8	57,0	58,1	59,1	60,1						
11					63,6	65,6	67,3	68,9	70,4	71,7	73,0	74,2	75,3					
12						79,4	81,6	83,3	85,3	86,9	88,4	89,8	91,2	92,4				
13							97,3	99,6	101,7	103,7	105,5	107,2	108,8	110,3	111,7			
14							114,6	117,3	119,8	122,1	124,3	126,2	128,1	129,9	131,6	133,2		
15							133,5	136,6	139,5	142,2	144,7	147,0	149,2	151,3	153,2	155,1		
16								157,5	160,9	164,0	166,8	169,5	172,0	174,4	176,7	178,8		
17								180,1	183,9	187,4	190,7	193,8	196,7	199,4	201,9	204,4	206,7	
18								204,3	208,6	212,6	216,3	219,8	223,1	226,2	229,1	231,9	234,5	

Taulukko 8. Ensiharvennumännyn maanpäällisen osan tilavuus Pohjois-Suomessa.
 Table 8. Volume of above-ground biomass of young Scots pine trees in northern Finland.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Pituus, m - Height, m																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	Runko, dm ³ - Stem, dm ³																	
2	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3													
3		1,8	2,2	2,5	2,9	3,2												
4			3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,2										
5				4,8	5,9	6,9	7,8	8,7	9,6	10,4								
6					8,4	9,9	11,2	12,5	13,7	14,9	16,0	17,1						
7						11,4	13,3	15,2	16,9	18,5	20,1	21,7	23,2					
8							17,4	19,7	22,0	24,1	26,2	28,2	30,1	32,0				
9								21,9	24,9	27,7	30,4	33,0	35,5	38,0	40,4			
10									30,6	34,1	37,4	40,6	43,7	46,7	49,7	52,5		
11										36,9	41,4	45,1	49,0	52,7	56,4	59,9	63,4	
12											48,8	53,5	58,1	62,6	66,9	71,0	75,2	
13												57,1	62,7	68,0	73,3	78,3	83,2	
14													66,0	72,5	78,7	84,8	90,6	
15														83,0	90,2	97,1	103,8	
16															94,3	102,4	110,2	
17																106,2	115,3	
18																	118,8	
	Oksat, dm ³ - Branches, dm ³																	
2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2													
3		1,0	0,9	0,8	0,6	0,5												
4			2,0	1,8	1,7	1,5	1,3	1,0										
5				3,4	3,2	2,9	2,7	2,4	2,0	1,7								
6					5,0	4,6	4,3	3,8	3,4	3,0	2,6	2,1						
7						7,2	6,8	6,3	5,8	5,3	4,7	4,1	3,5					
8							9,4	8,9	8,2	7,6	6,8	6,1	5,4	4,6				
9								12,5	11,8	11,1	10,3	9,4	8,6	7,6	6,6			
10									15,4	14,5	13,5	12,5	11,4	10,3	9,1	8,0		
11										19,4	18,1	17,3	16,1	14,9	13,5	12,2	10,8	
12											22,8	21,6	20,2	18,7	17,2	15,8	14,1	
13												27,8	26,4	24,9	23,2	21,5	19,7	
14													33,5	31,8	30,1	28,2	26,3	
15														37,9	35,8	33,8	31,6	
16															44,4	42,2	40,0	
17																51,6	49,3	
18																	59,4	
	Runko ja oksat, dm ³ - Stem and branches, dm ³																	
2	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5													
3		2,8	3,1	3,3	3,5	3,7												
4			5,1	5,6	6,1	6,5	6,9	7,2										
5				8,2	9,1	9,8	10,5	11,1	11,6	12,1								
6					13,4	14,5	15,5	16,3	17,1	17,9	18,6	19,2						
7						18,6	20,1	21,5	22,7	23,8	24,8	25,8	26,7					
8							26,8	28,6	30,2	31,7	33,0	34,3	35,5	36,6				
9								34,4	36,7	38,8	40,7	42,4	44,1	45,6	47,0			
10									46,0	48,6	50,9	53,1	55,1	57,0	58,8	60,5		
11										56,3	59,5	62,4	65,1	67,6	69,9	72,1	74,2	
12											71,6	75,1	78,3	81,3	84,1	86,8	89,3	
13												84,9	89,1	92,9	96,5	99,8	102,9	
14													99,5	104,3	108,8	113,0	116,9	
15														120,9	126,0	130,9	135,4	
16															138,7	144,6	150,2	
17																157,8	164,6	
18																	178,2	

Taulukko 9. Ensiharvennuskuisen maanpäällisen osan tilavuus Etelä-Suomessa.

Table 9. Volume of above-ground biomass of young Norway spruce trees in southern Finland.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Pituus, m - Height, m																
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
	Runko, dm ³ - Stem, dm ³																
3	1,6	2,0															
4	2,7	3,4	4,1														
5		5,3	6,3	7,3	8,3												
6			9,0	10,4	11,7	13,1	14,3	15,6	16,8								
7			12,1	14,0	15,8	17,6	19,3	21,0	22,7								
8			15,7	18,1	20,5	22,8	25,0	27,2	29,3	31,4							
9				22,7	25,7	28,6	31,4	34,1	36,8	39,4							
10					31,5	35,0	38,4	41,8	45,1	48,3	51,5						
11						42,1	46,2	50,2	54,2	58,1	61,9	65,6					
12							54,7	59,4	64,1	68,7	73,2	77,7	82,0				
13								69,4	74,8	80,2	85,4	90,6	95,7	100,8			
14									86,3	92,5	98,6	104,6	110,5	116,3	122,0		
15										105,7	112,6	119,5	126,2	132,8	139,4		
	Oksat, dm ³ - Branches, dm ³																
3	1,6	1,2															
4	3,7	2,8	2,4														
5		5,7	4,7	4,0	3,4												
6			8,0	6,8	6,0	5,4	4,8	4,5	4,1								
7			12,6	10,8	9,5	8,5	7,7	7,0	6,5								
8			18,8	16,0	14,1	12,6	11,5	10,5	9,6	9,0							
9				22,8	20,0	17,9	16,2	14,8	13,7	12,7							
10					27,4	24,4	22,1	20,3	18,7	17,4	16,3						
11						32,5	29,4	26,9	24,8	23,1	21,6	20,3					
12							38,1	34,8	32,2	29,9	28,0	26,3	24,7				
13								44,2	40,8	38,0	35,4	33,3	31,4	29,6			
14									50,9	47,3	44,2	41,5	39,2	37,1	35,3		
15										58,0	54,3	51,0	48,2	45,5	43,4		
	Runko ja oksat, dm ³ - Stem and branches, dm ³																
3	3,2	3,2															
4	6,4	6,2	6,5														
5		11,0	11,0	11,3	11,7												
6			17,0	17,2	17,7	18,5	19,1	20,1	20,9								
7			24,7	24,8	25,3	26,1	27,0	28,0	29,2								
8			34,5	34,1	34,6	35,4	36,5	37,7	38,9	40,4							
9				45,5	45,7	46,5	47,6	48,9	50,5	52,1							
10					58,9	59,4	60,5	62,1	63,8	65,7	67,8						
11						74,6	75,6	77,1	79,0	81,2	83,5	85,9					
12							92,8	94,2	96,3	98,6	101,2	104,0	106,7				
13								113,6	115,6	118,2	120,8	123,9	127,1	130,4			
14									137,2	139,8	142,8	146,1	149,7	153,4	157,3		
15										163,7	166,9	170,5	174,4	178,3	182,8		

Taulukko 10. Vajaatuottoisen, pienikokoisen kuusen maanpäällisen osan tilavuus Pohjois-Suomessa.

Table 10. Volume of above-ground biomass of under-productive small-sized Norway spruce trees in northern Finland.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Pituus, m – Height, m											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Runko, dm ³ – Stem, dm ³											
3	1,4	1,9										
4		3,2	3,9									
5		4,7	5,9	7,0								
6			8,2	9,8	11,3							
7			10,9	13,0	14,9	16,8						
8				16,5	19,0	21,4	23,7					
9				20,5	23,6	26,5	29,4	32,2				
10					28,5	32,1	35,6	39,0				
11					34,0	38,2	42,4	46,4				
12						44,8	49,7	54,4	59,0			
13						51,8	57,5	62,9	68,2	73,5		
14						59,3	65,8	72,0	78,1	84,1	89,9	
15							74,5	81,6	88,6	95,3	101,9	
	Oksat, dm ³ – Branches, dm ³											
3	1,4	1,3										
4		2,5	2,3									
5		4,1	4,0	4,0								
6			6,3	6,2	6,1							
7			9,3	9,0	8,8	8,7						
8				12,4	12,2	12,0	11,9					
9				16,6	16,2	15,9	15,7	15,5				
10					20,9	20,6	20,3	20,0				
11					26,4	25,9	25,6	25,3				
12						32,0	31,5	30,6	30,8			
13						38,8	38,3	37,8	37,3	37,0		
14						46,3	45,8	45,2	44,7	43,9	43,9	
15							53,9	53,3	52,7	52,2	51,8	
	Runko ja oksat, dm ³ – Stem and branches, dm ³											
3	2,8	3,2										
4		5,7	6,2									
5		8,8	9,9	11,0								
6			14,5	16,0	17,4							
7			20,2	22,0	23,7	25,5						
8				28,9	31,2	33,4	35,6					
9				37,1	39,8	42,4	45,1	47,7				
10					49,4	52,7	55,9	59,0				
11					60,4	64,1	68,0	71,7				
12						76,8	81,2	85,0	89,8			
13						90,6	95,8	100,7	105,5	110,5		
14						105,6	111,6	117,2	122,8	128,0	133,8	
15							128,4	134,9	141,3	147,5	153,7	

Taulukko 11. Markkinakelpoisen kuitupuun, hukkarunkopuun ja oksien keskimääräinen osuus ensiharvennusvaiheen männikön maanpäällisen osan biomassasta Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Kuitupuun pituus 2 m ja vähimmäisläpimitta 6 cm.

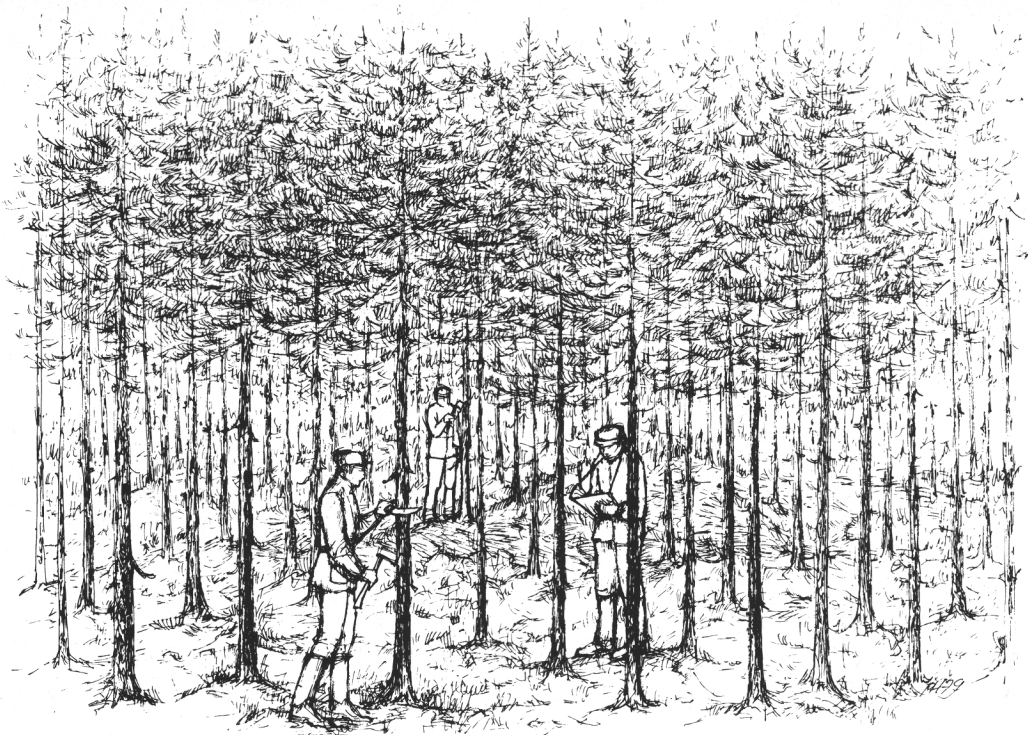
Table 11. Proportion of branches and merchantable and unmerchantable stemwood in total above-ground biomass of young Scots pine trees at first thinning in southern and northern Finland. Average data.

D _{1,3} , cm D _{bb} , cm	Etelä-Suomen ensiharvennusmänty <i>Scots pine at the phase of the first thinning in southern Finland</i>				Pohjois-Suomen ensiharvennusmänty <i>Scots pine at the phase of the first thinning in northern Finland</i>			
	Kuitupuu <i>Merch. bole</i>	Hukkarunkopuu <i>Unmerch. bole</i>	Oksat <i>Branches</i>	Yhteensä <i>Total</i>	Kuitupuu <i>Merch. bole</i>	Hukkarunkopuu <i>Unmerch. bole</i>	Oksat <i>Branches</i>	Yhteensä <i>Total</i>
	Osuus biomassasta, % - <i>Proportion of biomass, %</i>				Osuus biomassasta, % - <i>Proportion of biomass, %</i>			
3	—	75	25	100	—	75	25	100
4	—	75	25	100	—	78	22	100
5	—	74	26	100	—	78	22	100
6	—	73	27	100	—	77	23	100
7	32	41	27	100	38	41	21	100
8	46	26	28	100	51	26	23	100
9	54	19	27	100	60	20	20	100
10	60	14	26	100	64	14	22	100
11	63	11	26	100	68	11	21	100
12	66	9	25	100	67	11	22	100
13	68	7	25	100	70	8	23	100
14	70	6	24	100	72	6	22	100
15	71	5	24	100	70	6	24	100

Taulukko 12. Markkinakelpoisen kuitupuun, hukkarunkopuun ja oksien keskimääräinen osuus Etelä-Suomen ensiharvennuskuusen ja Pohjois-Suomen vajaatuottoisen, pienikokoisen kuusen maanpäällisen osan biomassasta. Kuitupuun pituus 2 m ja vähimmäisläpimitta 6 cm.

Table 12. Proportion of branches, merchantable and unmerchantable stemwood in above-ground biomass of young Norway spruce trees at first thinning in southern Finland and of small-sized under-productive Norway spruce in northern Finland. Average data.

D _{1,3} , cm D _{bb} , cm	Etelä-Suomen ensiharvennuskuusi <i>Spruce at the phase of the first thinning in southern Finland</i>				Pohjois-Suomen vajaatuottoinen kuusi <i>Under-productive spruce in northern Finland</i>			
	Kuitupuu <i>Merch. bole</i>	Hukkarunkopuu <i>Unmerch. bole</i>	Oksat <i>Branches</i>	Yhteensä <i>Total</i>	Kuitupuu <i>Merch. bole</i>	Hukkarunkopuu <i>Unmerch. bole</i>	Oksat <i>Branches</i>	Yhteensä <i>Total</i>
	Osuus biomassasta, % - <i>Proportion of biomass, %</i>				Osuus biomassasta, % - <i>Proportion of biomass, %</i>			
3	—	61	39	100	—	61	39	100
4	—	59	41	100	—	61	39	100
5	—	63	37	100	—	58	42	100
6	—	63	37	100	—	57	43	100
7	32	31	37	100	32	31	37	100
8	42	23	35	100	38	26	36	100
9	49	17	34	100	39	21	40	100
10	55	14	31	100	53	12	34	100
11-12	57	9	35	100	50	10	40	100
13-14	61	4	35	100	51	8	41	100
15-16	74	2	24	100	54	6	40	100



Kuva 3. Pystymittaus.
Fig. 3. Measuring of standing trees.

Taulukko 13. Etelä-Suomen ensiharvennuskuusen ja Pohjois-Suomen vajaatuottoisen, pienikokoisen kuusipuun hukkarunkopuun osuus (%) kaikesta runkopuusta pinotavaran vähimmäismitasta riippuen.
Table 13. Proportion of unmerchantable stemwood in all stemwood of young Norway spruce in southern Finland and in small-sized, under-productive spruce in northern Finland, depending of the minimum diameter of pulpwood.

D _{1,3} , cm D _{bb} , cm	Etelä-Suomi – Southern Finland			Pohjois-Suomi – Northern Finland		
	Pölkyn pituus – Length of the bolt			Pölkyn pituus – Length of the bolt		
	yli – over 2 m	2 m	3 m	yli – over 2 m	2 m	3 m
3	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100
7	36	49	79	31	50	97
8	21	36	38	24	41	50
9	16	26	36	14	35	28
10	11	20	26	11	19	29
11	16	17	20	7	17	24
12	13	10	13	8	19	31
13	5	8	13	6	12	14
14	5	9	14	6	15	24
15	2	8	6	4	13	10

Taulukko 14. Puuaineen jakautuminen markkinakelpoisen kuitupuun, hukkarunkopuun ja oksien kesken ensiharvennumännikössä Etelä-Suomessa ja Pohjois-Suomessa.

Table 14. Proportion of wood in the branches and in merchantable stemwood in the biomass of Scots pine trees at first thinning in southern and northern Finland.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Etelä-Suomi – Southern Finland					Pohjois-Suomi – Northern Finland						
	Puuaines – Wood proper					Puuaines – Wood proper						
	Kuitupuun Merch. bole	Hukka- runkopuu Unmerch. bole	Oksat Branches	Yhteensä Total	Kuori ja neulas Bark and needles	Yhteensä Total	Kuitupuun Merch. bole	Hukka- runkopuu Unmerch. bole	Oksat Branches	Yhteensä Total	Kuori ja neulas Bark and needles	Yhteensä Total
2	–	61	9	70	30	100	–	61	11	72	28	100
3	–	61	10	71	29	100	–	64	10	74	26	100
4	–	62	10	72	28	100	–	65	10	75	25	100
5	–	62	10	72	28	100	–	65	10	75	25	100
6	–	61	11	72	28	100	–	65	10	75	25	100
7	27	35	11	73	27	100	33	35	10	78	22	100
8	39	23	11	73	27	100	44	22	10	76	24	100
9	47	16	11	74	26	100	52	17	9	78	22	100
10	52	12	11	75	25	100	56	12	10	78	22	100
11	55	10	11	76	24	100	59	9	10	78	22	100
12	58	8	11	77	23	100	58	9	10	77	23	100
13	60	6	11	77	23	100	62	7	10	79	21	100
14	62	5	10	77	23	100	64	5	10	79	21	100
15	63	4	10	77	23	100	62	5	11	78	22	100
Osuus biomassasta, % – Proportion of biomass, %												

Taulukko 15. Puuaineen jakautuminen markkinakelpoisen kuitupuun, hukkarunkopuun ja oksien kesken Etelä-Suomen ensiharvennuskaisussa ja Pohjois-Suomen vajaattuotteisessa pienikokoisessa kuusipuussa.

Table 15. Proportion of wood in the branches and in merchantable stemwood in the biomass of young Norway spruce trees at first thinning in southern Finland and in small-sized, under-productive Norway spruce in northern Finland.

D _{1,3} , cm Dbb, cm	Etelä-Suomi – Southern Finland					Pohjois-Suomi – Northern Finland						
	Puuaines – Wood proper					Puuaines – Wood proper						
	Kuitupuun Merch. bole	Hukka- runkopuu Unmerch. bole	Oksat Branches	Yhteensä Total	Kuori ja neulas Bark and needles	Yhteensä Total	Kuitupuun Merch. bole	Hukka- runkopuu Unmerch. bole	Oksat Branches	Yhteensä Total	Kuori ja neulas Bark and needles	Yhteensä Total
3	–	49	14	63	37	100	–	48	16	64	36	100
4	–	48	14	62	38	100	–	49	16	65	35	100
5	–	52	13	65	35	100	–	47	17	64	36	100
6	–	53	13	66	34	100	–	46	17	63	37	100
7	28	26	13	67	33	100	27	25	15	67	33	100
8	36	20	12	68	32	100	32	22	14	68	32	100
9	42	15	12	69	31	100	33	17	16	66	34	100
10	48	12	11	71	29	100	43	10	14	67	33	100
11–12	50	8	12	70	30	100	43	8	16	67	33	100
13–14	54	3	12	69	31	100	44	7	16	67	33	100
15–16	66	2	8	76	24	100	46	5	16	67	33	100
	Osuus biomassasta, % – Proportion of biomass, %											

Kokopuuraaka-aineen hinnoittelua varten on tiedettävä tavanomaisen ainespuun vähimmäisläpimitan täyttävän rungon, tavaramateriaalin puitteissa hukkapuiksi jäävän latvakappaleen sekä oksien osuus biomassasta, kun pölkyn pituus on 2 m. Tämä jakauma läpimitaluokittaisina keskiarvoina nähdään taulukoista 11 ja 12. Taulukko 13 osoittaa lisäksi hukkapuun osuuden riippuvuuden tavaramateriaalin menetelmässä käytetystä pölkyn pituudesta kuusella.

Taulukoiden 11–15 perusteella voidaan määrittää pystymitatun ensiharvennusleimon biomassan määrä ja koostumus. On kuitenkin huomattava, että kokopuuraaka-aineen korjuuketjujen eri vaiheissa osa oksista karisee pois, joten taulukot eivät sellaisenaan osoita valmiin kokopuuhakkeen koostumusta.

32. Kokopuuraaka-aineen pinomittaus

321. Kokopuupinon kehystilavuuden laskeminen

Kokopuupinon kehystilavuus voidaan laskea kahdella tavalla. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kehystilavuus lasketaan pinon etuja takapuolelta mitatun keskikorkeuden, keskipituuden ja keskileveyden tulona. Vain pinon viimeinen, vajaamittainen pätkä kuutioidaan erikseen. Toisessa vaihtoehdossa pinon kaikki osat kuutioidaan pätkittäin vastaavalla tavalla. Mikäli pinon leveys tai korkeus on vakio, menetelmät johtavat tarkalleen samaan tulokseen.

Kehystilavuuden laskemisen vaihtoehtoja voidaan tarkastella esimerkin valossa. Pinon etu- ja takareunan pituudeksi oletetaan 12,60 m. Kahden metrin välein tehdyt korkeus- ja leveyshavainnot ovat seuraavat.

Etäisyys alku-pisteestä m	Etukorkeus m	Takakorkeus m	Leveys m	Pätkän kehystilavuus, m ³
1,00	2,70	1,85	7,10	32,31
3,00	2,70	2,30	7,80	39,00
5,00	2,80	2,45	7,80	40,95
7,00	2,85	2,55	7,70	41,58
9,00	2,85	2,75	8,30	46,48
11,00	2,00	2,25	7,80	33,15
12,30	1,90	3,20	7,80	11,93

Ensimmäisessä vaihtoehdossa pinon keskikorkeus on 2,50 m ja keskileveys 7,75 m, jolloin viimeinen erikseen kuutioidava vajaapituinen osa on jätetty huomioon ottamatta. Kehystilavuus on niin ollen $12,00 \text{ m} \times 2,50 \text{ m} \times 7,75 \text{ m} + 11,93 \text{ m}^3 = 232,50 \text{ m}^3 + 11,93 \text{ m}^3 = 244,43 \text{ m}^3$.

Toisessa vaihtoehdossa koko pino kuutioidaan pätkittäin. Osiin kehysmitat, jotka nähdään yllä olevan asetelman viimeisestä pystysarakkeesta, lasketaan sellaisinaan yhteen. Koko pinon kehystilavuus on näin laskien $245,40 \text{ m}^3$.

Jälkimmäinen vaihtoehto on teoreettisesti tarkempi. Sen voidaan olettaa antavan hieinan suuremman kehystilavuuden, sillä pinon korkeat ja leveät kohdat sattuvat usein yhteen. Seuraava koko aineiston sisältävä asetelma osoittaa eron jäävän käytännössä kuitenkin varsin pieneksi.

	Kehystilavuuksien suhdeluku					
	Mänty		Koivu		Leppä	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Vaihtoehto 1	99,6	1,4	100,0	1,6	99,7	0,6
Vaihtoehto 2						

Taulukkoon 16 on koottu puulajeittain keskimääräisiä mittaustuloksia koepinoista ja niiden raaka-ainesisällöstä.

322. Kehystilavuuden muuntaminen kiintotilavuudeksi

Kuten edellä on kuvattu, kustakin pinosta tehdyn kokopuuhakkeen määrä mitattiin punnitsemalla. Tuoremassa muunnettiin kuivamassaksi kosteusnäytteitten avulla. Kuivamassa muunnettiin edelleen kiintotilavuudeksi puuaineen tiheyttä muuntolukuna käyttäen. Tutkimuksessa käytettiin seuraavia puuaineen kuiva-tuoretiheyksiä kiintotilavuuden määrittämiseksi.

Männyn kokopuuraaka-aine	385 kg/m ³
Koivun kokopuuraaka-aine	460 kg/m ³
Lepän kokopuuraaka-aine	370 kg/m ³

Tutkimusaineistosta laskettiin muuntolukuja sekä pinon kehystilavuuden että pinosta saadun, lähtöpaikalla mitatun hakkeen irtotilavuuden pohjalta. On huomattava, että luvut osoittavat talteen saatavan hakkeen määrän kiinto- tai irtotilavuutena puun kehystilavuutta kohti. Haketusvaiheessa hukkaan joutuva raaka-aine vaikuttaa siis suhdelukua alentavasti.

Liitteissä 3 ja 4 esitetään suhdeluvut pinon kullakin työmaalla. Keskimääräiset suhdeluvut vaihtelivat puulajeittain seuraavasti.

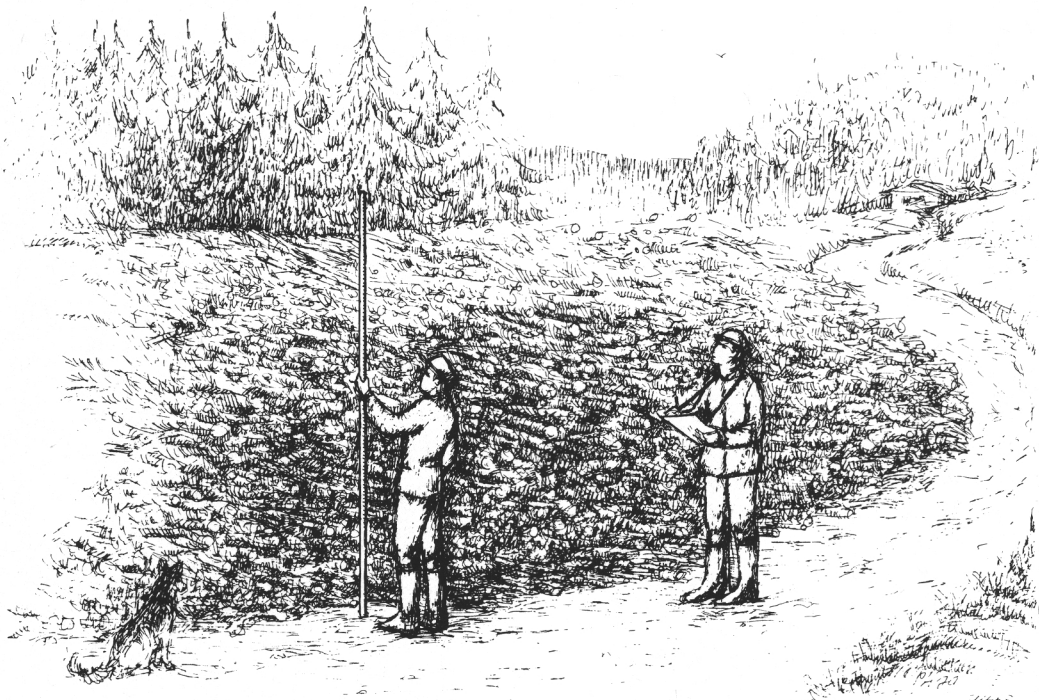
	kiintotilavuus, m ³		irtotilavuus, m ³	
	kehystilavuus, m ³ x	s	kehystilavuus, m ³ x	s
Männyn kokopuuraaka-aine	,281	,050	,636	,097
Koivun kokopuuraaka-aine	,234	,031	,598	,074
Lepän ylivuotinen kokopuuraaka-aine	(,144)	(,026)	(,297)	(,053)

Pinotiiviyslulun pinokohtainen hajonta prosentteina sen keskiarvosta osoittaa pinomittauksen tarkkuutta. Männyllä se oli 17,8 %, koivulla 13,2 % ja ylivuotisella leppällä 18,1 %.

Suhdeluvuissa ei ole otettu huomioon haketusvaiheessa hukkaan mennyttä kokopuuraaka-ainetta. Porin työmaalla punnittiin Trelan-hakkurin jäljiltä hukkaantunut raaka-aine kahden koivupinon osalta. Toisessa pinossa pinon pohjalle jäi 1,1 %, hakkurin alle 1,3 % ja hakeauton ympärille 1,9 % eli yhteensä 4,3 % pinon kokopuuraaka-aineesta. Toisessa pinossa vastaavat luvut olivat 0,6, 0,6 ja 0,9 % eli yhteensä 2,1 %.

Leppällä suhdeluvut ovat huomattavasti pienempiä kuin männyllä ja koivulla. Kysymys ei ole kuitenkaan ensisijaisesti puulajien välisistä eroista. Lepän alhaisiin suhdelukui-

hin vaikuttavat pitkä varastointiaika ja haketettaessa vallinnut pakkanen. Leppä, jossa lahoaminen edistyy nopeasti, oli yli vuoden ajan kaadettuna ennen haketusta, kun taas koivu ja mänty hakettiin miltei tuoreena samana talvikautena 1–6 kk kaadon jälkeen. Myös pakkanen vaikutti suhteen pienuteen, sillä osa leppäkasoista hakettiin -28°C :n pakkasella. Ylivuotisesta, lahovikaisesta kokopuuraaka-aineesta katkeili siten runsaasti oksia ja latvojakin. Osa pinon raaka-aineesta hukkaantui, eikä sitä saatu hakkeena talteen. Hakemäärät jäivät pienemmiksi kuin keskimääräisissä oloissa (ks. liite 3 ja 4 leppäpinot 5–8 ja 10–11). Lepän osalta tulos ei kuvaa puulajin keskiarvoa, vaan pikemminkin äärimmäisen epäedullisissa oloissa tapahtuneen haketuksen tulosta.



Kuva 4. Pinomittaus.

Fig. 4. Measuring of pile volume.

323. Pinon tiiviyn vaihtelu

Kokopuupinojen tiiviyn vaihtelua selittävälle mallille asetetaan käytännön kannalta seuraavia odotuksia.

- Selittävien muuttujien tulee olla suhteellisen nopeasti ja tarkasti mitattavia tai arvioitavia.
- Muuttujien mittaaminen ei saa aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia.
- Mallin tulee olla looginen, ts. sen tulee sisältää kaikki mahdolliset tärkeät selittäjät.

Oksaisuuden, mutkaisuuden ja ladonnan luokittelu on kokopuuraaka-aineen osalta vaikeata. Luokkajaoon tekeminen esimerkiksi ladonnan osalta on ennen aikaista korjuumenetelmien ollessa vielä kehitysvaiheessa. Tä-

tä syystä pinon tiiviyttä selittävään regressiomalliin ei pyritty sovittamaan mainittuja luokkamuuttujia. Lumen ja jään vaikutus oli kehysmittausvaiheessa mitätön, joten myöskään sillä ei ollut vaikutusta tulokseen.

Mallin laskeminen rajoitettiin mäntyaineistoon, joka sisälsi kaikkiaan 45 kokopuupinoa. Koivu- ja leppäaineisto hylättiin regressiokäsittelystä aineiston pienuuden vuoksi. Männyllä malli sai seuraavan muodon.

$$y = 0,157 + 0,020x_1^{**} (\pm 0,009) + 0,008x_2^{**} (\pm 0,004)$$

- y = pinon kiintotilavuuden ja kehystilavuuden suhde
 x_1 = pinon etukorkeus, m
 x_2 = kantoläpimitta, cm

Taulukko 16. Keskimääräisiä mittaustuloksia koepuupinoista ja niiden raaka-ainesisällöstä.
 Table 16. Average measurements of sample piles and their raw material contents.

	Mänty <i>Pine</i>	Koivu <i>Birch</i>	Leppä <i>Alder</i>
Korkeus edessä, m <i>Front height, m</i>	2,5	2,5	1,8
Korkeus takana, m <i>Back height, m</i>	1,9	1,7	1,9
Keskipituus, m <i>Mean length, m</i>	12,7	8,7	7,9
Keskileveys, m <i>Mean width, m</i>	7,1	7,2	7,1
Pinon kehystilavuus, m ³ <i>Pile volume, m³</i>			
- Keskimitoilla <i>Mean measure</i>	225,9	125,2	124,2
- Päkittäin <i>In portions</i>	226,8	125,1	124,5
Kantoläpimitta, cm <i>Diameter of stump cross-sections, cm</i>	9,7	7,1	7,0
Poikkileikkausläpimitta, cm <i>Diameter of all cross-sections, cm</i>	9,3	6,1	..
Etäreunan kylkitiiviyys <i>Pile face density of front edge</i>	,335	,276	,306
Hakkeen irtotilavuus väliavarastoilla, m ³ <i>Loose volume of chips at intermediate landing, m³</i>	144,1	75,3	37,0
Hakkeen irtotilavuus tehtaalla, m ³ <i>Loose volume of chips at pulp mill, m³</i>	137,1	72,7	35,7
Hakkeen kiintotilavuus, m ³ <i>Solid volume, m³</i>	63,7	29,4	18,0
Tuore massa, t <i>Green weight, t</i>	48,7	24,4	11,2
Kuiva massa, t <i>Dry weight, t</i>	24,5	13,5	6,7

Muuttujien kertoimet ovat 1 %:n riskitasolla tilastollisesti merkitseviä. Malli selittää 13 % pinon tiiviyn vaihtelusta. Regressio- ja jäännösvarianssin suhteen testaaminen ($F = 4,283$, $df = 2, 42$) osoittaa mallin merkitseväksi 5 %:n riskitasolla. Taulukko 17 osoittaa männyn kokopuuraaka-aineen osalta pinon keskimääräisen tiiviyn pinon etukorkeuden ja puuston kantoläpimitan vaihdellessa.

Työmaa	Mänty		Koivu		Leppä	
	Läpimitta	Pinon tiiviyys	Läpimitta	Pinon tiiviyys	Läpimitta	Pinon tiiviyys
A	5,5	,56	6,2	,55	7,8	,52
B	7,0	,63	6,2	,54	6,4	,53

Aro (1962) on esittänyt määrämittaiselle polttorangalle tiiviyyslukuja. Ne osoittavat tiiviyn pienentyvän rangan pidentyessä. Havupuiden pinotiiviyys on lehtipuita suurempi.

	Pinon tiiviyys	
	2 m ranka	4 m ranka
Mänty	,60	,50
Koivu	,54	,44
Leppä	,51	,41

Taulukko 17. Kokopuumännyn pinon tiiviyys-kantoläpimitasta ja pinon etureunan korkeudesta riippuen.

Table 17. The pile density of the whole-tree piles of pine as a function of stump diameter and the front height of the pile.

D_k , mm	Pinon etukorkeus, m - Front height, m					
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
4	,209	,219	,229	,239	,249	,259
5	,217	,227	,237	,247	,257	,267
6	,225	,235	,245	,255	,265	,275
7	,233	,243	,253	,263	,273	,283
8	,241	,251	,261	,271	,281	,291
9	,249	,259	,269	,279	,289	,299
10	,257	,267	,277	,287	,297	,307
11	,265	,275	,285	,295	,305	,315
12	,273	,283	,293	,303	,313	,323
13	,281	,291	,301	,311	,321	,331
14	,289	,299	,309	,319	,329	,339
15	,297	,307	,317	,327	,337	,347

Vertailuna esitetään käsin ladotun pienikokoisen, 2-metrisen männyn, koivun ja leppän polttorangan pinotiiviyyslukuja erään aikaisemman tutkimuksen mukaan. Tiiviyys on pienin ja vaihtelu suurin, kun rangat ovat hyvin ohuita. Lehtipuurangoilla pinon tiiviyys on pienempi kuin havupuurangoilla (Taipale 1961), mutta kummallakin kuitenkin oleellisesti suurempi kuin karsimattomalla kokopuuraaka-aineella.

Hajamittaisen rangan pinotiiviyn määrittäminen on vaikeampaa ja epätarkempaa kuin määrämittaisen rangan, kokopuun vieläkin vaikeampaa. Taipale on esittänyt pieniläpimitteiselle, 3–5 m pitkälle rangalle seuraavat tiiviyysluvut.

Työmaa	Läpimitta rangan keskellä, cm	Mänty	Koivu	Leppä
1		,48	,37	—
2	8–9	,54	,47	,49
3		—	,39	—
1		,51	,38	—
2	6–7	,45	,35	,35
3		—	,45	—
1	5	,38	,32	—
2		,29	,30	,37

Pinon tiiviyys ei hajamittaisilla rangoilla seuraa johdonmukaisesti läpimittojen muutoksia. Tämä heikentää mittauksen luotettavuutta.

Mielenkiintoisia vertailukohteita ovat myös Ervastin ja Salon (1965) esittämät tiiviyysluvut käsin ladotuille oksille ja risuille.

Pituus, cm	Kiinto- ja irtotilavuuden suhde (tiiviyys)
0–75	,52
76–125	,36
>125	,34

Metsäntutkimuslaitoksen vielä julkaisemattomassa leppäranka-aineistossa pinotii- viyslukuksi saatiin, 43 rankojen kantoläpimitan ollessa 9–14 cm ja pituuden 3–6 m.

Kokopuiden pinotii viyslukuja tulee verrata lähinnä pieniläpimittaisten hajapituisten rankojen pinotii viyslukuihin. Ne ovat niitäkin selvästi pienempiä. Ero tuntuu luonnolliselta, kun otetaan huomioon oksien aiheuttama tyhjä tila, kokopuiden pieni läpimitta sekä kokopuuraaka-aineen suuri pituus.

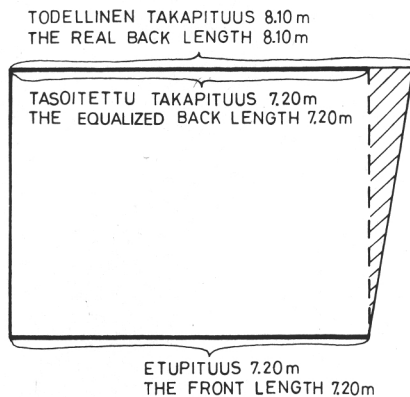
324. Kokopuuraaka-aineen pinomittaus käytännössä

Kehystilavuuden määrittämiseksi kokopuuraaka-aineen tulee olla mittauskelpoisena pinossa. Tällöin asetetaan seuraavat perusvaatimukset.

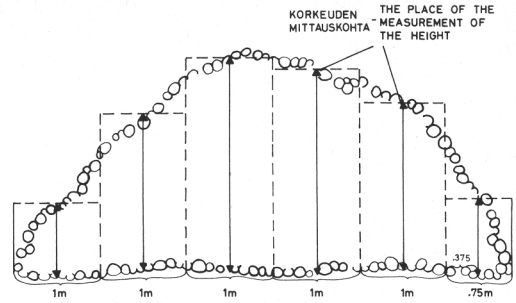
- pinot ovat erillään toisistaan
- puut ovat pinossa samaan suuntaan
- pinojen tulee olla tasaisia ja tyvien samassa tasossa.

Pino, joka täyttää nämä vaatimukset, voidaan mitata ja kuutioida käytännössä yksinkertaisimmin seuraavalla tavalla.

Pinon pituus mitataan tyvien puolelta maan rajasta pinoon äärimmäisten puitten ulkoreunojen välimatkana (kuva 5). Mittaukset suoritetaan 1 desimetrin tasaavaa luokitusta käyttäen. Kokopuupinoissa pinoon takaosa on yleensä etuosaan verrattuna leveämpi. Takapituus arvioidaan kuitenkin korkeuteen tasoittaen samaksi kuin etupituus kuvan 5 osoittamalla tavalla.



Kuva 5. Kokopuupinon pituuden mittaus.
Fig. 5. Measuring the length of whole-tree pile.



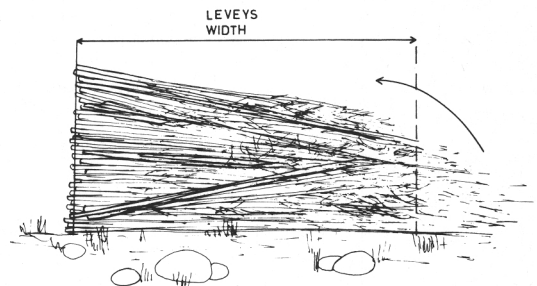
Kuva 6. Kokopuupinon jakaminen yhtä pitkiin osiin. Jokaisen osan korkeus mitataan erikseen.

Fig. 6. Sharing of whole-tree pile into equal portions. The height of every portion is measured separately.

Korkeus mitataan lyhyissä pinoissa 1 metrin (kuva 6) ja yli 10 metrin pinoissa 2 metrin välein. Pinoon toiseen päähän jäävän alle metrin (alle 2 metrin) mittaisen pinonosan korkeus mitataan erikseen sen puolivälistä.

Jokaisen yhtä pitkän pinonosan korkeus mitataan pituutensa puolivälistä pinoon molemmilta puolilta kohtisuoraan pituudenmittaussuuntaa vastaan alimman kokopuurivin tasoitetuksi arvioidusta alareunasta ylimmän tasoitetuksi arvioidun kokopuurivin yläreunaan yhden senttimetrin tasaavaa luokitusta käyttäen. Pinoon takakorkeuksien mittauksessa on erikoisesti huomioitava pinoon ylittävien latvojen tasoitus korkeuteen.

Pinon leveys mitataan etu- ja takakorkeuden mittauskohtien välisenä matkana pinoon päältä. Leveyden mittauksessa ylipitkät latvat tasoitetaan korkeuteen. Leveys mitataan 1 desimetrin tasaavaa luokitusta käyttäen (kuva 7).



Kuva 7. Pinon leveyden mittaus tasoittaen latvososan tyhjä tila korkeuteen.

Fig. 7. Measuring the width of the pile by levelling the empty room of tops to the height.

Viimeisen pinonosan pituus mitataan ensin pinon etupuolelta. Kokopuupinon epämääräisen muodon vuoksi takapituus arvioidaan korkeuteen tasoittaen yhtä pitkäksi kuin etupituus. Viimeisen pinonosan korkeus ja leveys mitataan pituuden puolivälistä edellä mainittuja periaatteita noudattaen.

Kehystilavuus lasketaan kahdessa vaiheessa seuraavasti:

- Lasketaan yhtä pitkien pinonosien yhteinen kehystilavuus niitten keskikorkeuden ja -leveyden pohjalta.
- Lasketaan viimeisen pinonosan kehystilavuus, joka lisätään edelliseen.

Saatu summa on kokopuupinon kehystilavuus. Kehystilavuutta mitattaessa vähennetään ainoastaan lumen ja jään mahdollisesti aiheuttama lisäys pinonosien korkeudesta.

Kokopuupinon kiintotilavuus lasketaan kertomalla kehystilavuus pinotiiviysluvulla, joka osoittaa pinon kiintotilavuuden ja kehystilavuuden suhteen. Kokopuumännyn pinotiiviys saadaan taulukosta 17. Huomattakoon, että pinotiiviysluvut on laadittu siten, että kiintotilavuudesta puuttuu haketusvaiheessa hukkaantuva osa raaka-aineesta.

Lehtipuulla tiiviys näyttää olevan alhaisempi kuin männyllä. Luotettavien lukujen saaminen edellyttää vielä lisäaineiston keräämistä.

33. Kokopuuhakkeen puu- ja mittaus- tekniset ominaisuudet

331. Kuljetuksen aiheuttama painuma

Hakekuormassa tapahtuu kuljetuksen aikana painumista, joka vaikuttaa mittaustulokseen. Painuman määrä riippuu kuormaus- tavasta, ajoneuvon rakenteesta, kuljetusmat- kasta, tien tasaisuudesta sekä hakkeen laa- dusta.

Kokopuuhakkeen koostumus eroaa teolli- suushakkeesta oksien, lehtien ja neulasten osalta. Voidaan olettaa, että neulaset lisäävät ja pienoksat alentavat hakkeen tiheyttä kuor- massa ja siten aiheuttavat eroja myös painu- massa (H a k k i l a ym. 1975).

Seuraava veto- ja perävaunujen painumia kuvaava asetelma osoittaa, että vetovaunussa vajoama oli huomattavasti vähäisempi kuin perävaunussa.

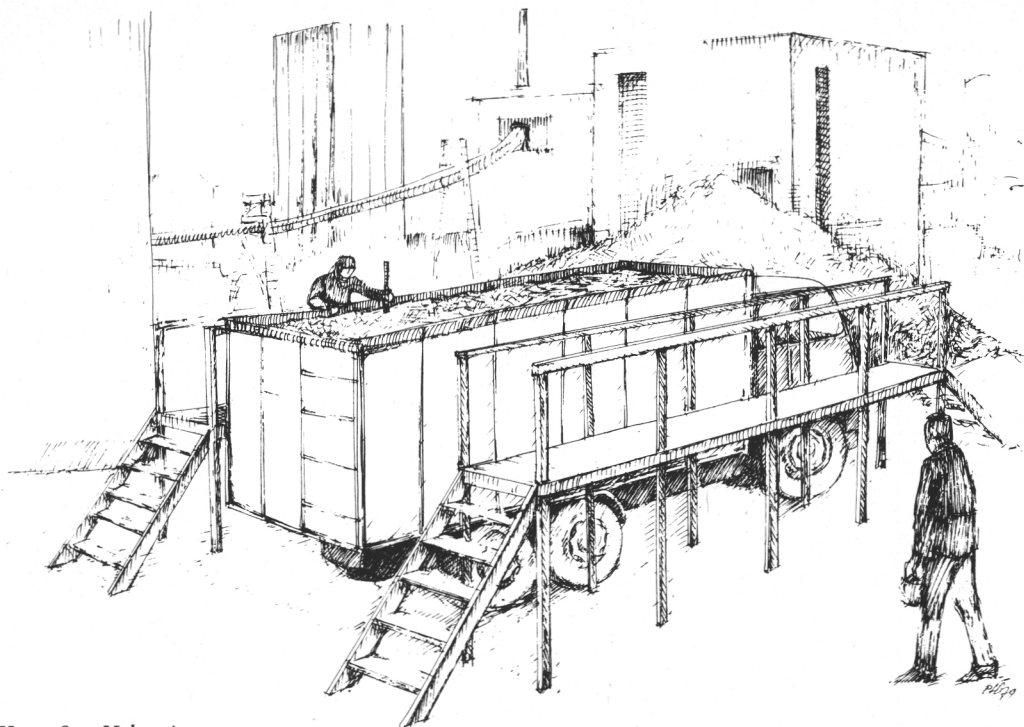
Kuljetusmatka, km	Painuma, %	
	Vetovaunu	Perävaunu
1-15	1,8	..
16-40	2,5	5,6
40 +	3,4	4,0
Keskimäärin	2,8	5,2

Luvut ovat vuoden eri aikoina suoritettujen mittausten keskiarvoja. Hakkeen painuma oli talvella keskimäärin 3,2 % ja kesällä 5,3 %. Talvella hakkeessa ilmeisesti tapah- tuu jäätymistä, jonka ansiosta pienet osaset eivät täytä hakeosasten välisiä rakoja kuten sulan puun aikana. Voidaan myös ajatella, että lumiset ja jäiset sivutiet ovat lisäksi talviaikana tasaisempia kuin kesällä ja vai- mentavat siten ajoneuvon tärinää.

Kokopuuhakkeella tiivistyminen riippuu osittain myös puulajista ja siitä, missä mää- rin puista on varissut viherainesta ennen ha- kettamista. Eräällä työmaalla, jolla käytet- tiin Trelan D-60 hakkuria, mitattiin painu- maksi 20 km:n matkalla veto- ja perävaun- nussa 3,6 ja 6,8 % tuoreelle mäntyhakkeelle ja 2,3 sekä 5,2 % lehdettömälle koivuhak- keelle. Samansuuntaisen tuloksen havu- ja lehtipuuta vertailtaessa saivat H a k k i l a ym. (1975). Painuma vaikuttaa hakkeen tii- viyteen ja siten irtotilavuusyksikön massa- an. Tiivistymisen vaikutus näkyi myös mänty- hakkeen irtotilavuusyksikön tuoreessa mas- sassa, joka oli selvästi koivuhaketta kor- keampi.

Myös kuormaus- ja hakkurin puhallusvoima vaikuttavat selvästi hakkeen tii- viyteen. Mäntyhakkeessa, joka tehtiin suu- ren puhallusvoiman omaavilla Algol- ja TT 1500 L hakkureilla, painuma oli 140 km:n kuljetusmatkasta huolimatta vetovaun- nussa 3,0 % ja perävaunussa 4,5 %.

Kokopuuhakkeessa kuljetuksen aikana ta- pahtuva painuma näyttää jäävän jonkin ver- ran alhaisemmaksi kuin sahanhakkeessa, jon- ka painuma aikaisemmassa laajassa tutki- musaineistossa oli vetovaunussa 4,9 % ja pe- rävaunussa 7,2 % sekä toisaalta kesä- ja talviajan yhteisinä keskiarvoina vastaavasti 6,1 ja 3,8 % (U s v a a r a 1972). Mai- nittakoon lisäksi, että vaneritehtaan jätteistä valmistettu hake painui autokuljetuksessa 4,3 % (U s v a a r a 1971).



Kuva 8. Hakemittaus.
Fig. 8. Measuring of chips.

332. Hakkeen kosteus

Kokopuuhakkeen kosteus riippuu pääasiassa puulajista sekä puitten käsittely- ja varastoimistavasta ja -ajasta. Hakki-
l a n y m. (1975) tutkimuksessa pieniko-
koisten puitten kosteussuhde oli keväällä
männyllä 144 %, kuusella 127 % ja koivul-

la 92 %. Kosteus vaihtelee kuitenkin jonkin
verran myös kasvukauden eri aikoina. Pieni-
kokoista puustoa voidaan tehokkaasti kuivat-
taa kaatamalla rungot rasiin keväällä lehtien
puhjettua (H a k k i l a 1962, S i m o l a
ja M ä k e l ä 1976).

Taulukossa 18 esitetään hakkeen kosteus-
suhde ja tilavuusyksikön tuore massa ennen

Taulukko 18. Kokopuuhakkeen kosteussuhde, kuiva-aineprosentti ja tuore massa ennen ja jälkeen auto-
kuljetuksen.

Table 18. Moisture content, dry-matter content and green weight of whole-tree chips before and after transportation.

Hakelaji Kind of chips	Kosteussuhde, % Moisture content, %		Kuiva-ainetta, % Dry matter content, %		Tuore massa, kg/m ³ - Green mass, kg/cu. m			
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	Lähtiessä On departure		Perillä On arrival	
Havupuu Softwood	118	24,7	46,7	4,3	335	32,0	347	3,1
Lehtipuu Hardwood	72	19,0	56,7	8,1	305	32,5	316	31,3
Kaikki All	86	28,2	53,1	8,1	316	36,8	327	35,4

ja jälkeen kuljetuksen. Havupuun oli melkein pelkäästään mäntyä ja lehtipuun pääasiassa koivua, joskin joukossa on jonkin verran mäntyä ja muita lehtipuita.

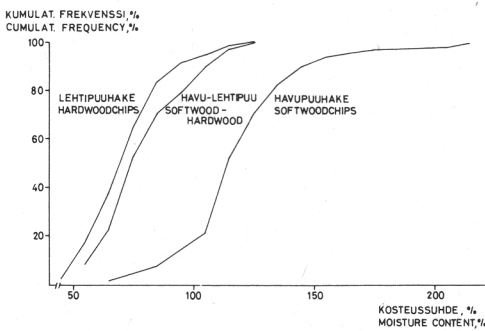
Varastoinnin pidentyessä ja varisemisen edistyessä kosteus yleensä alenee, mutta pitkään varastoidun, etenkin ylivuotisen ja osittain lahonneen puuston kosteus saattaa varastoinnin jatkuessa uudelleen nousta. Varastointiajan ohella kosteuteen vaikuttavat voimakkaasti näytteenottoa edeltäneet sääolot. Tästä syystä kosteuden vertailu eri pituisia aikoja varastoitujen kokopuuerien välillä antaa epäsäännöllisesti vaihtelevia tuloksia. Esimerkiksi ylivuotisen lehtipuun kosteussuhde vaihteli 40–167 %:n välillä. Talviaikana myös kasoista hakkeen joukkoon joutunut jää ja lumi saattavat nostaa kosteutta.

Lehtipuuhakkeen ja sekahakkeen kosteuden vaihtelu jäi merkittävästi vähäisemmäksi kuin havupuuhakkeen (kuva 9). Sekä lehtipuun että havupuuhakkeella jakaumien hui-

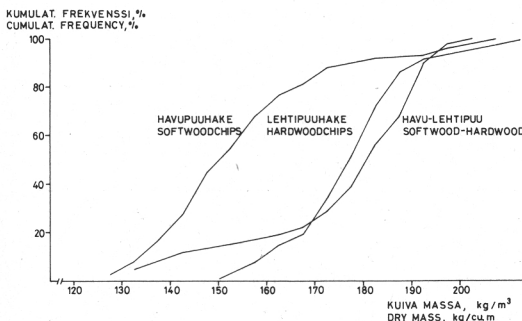
put olivat kuitenkin lähellä tuoreen puun kosteutta.

Kokopuuraaka-aine on ennen haketusta joko levällään tai kasoissa, jolloin kuivumisnopeus on erilainen. Tässä tutkimuksessa vain 28 % työmaista oli sellaisia, joilla puut jätettiin levälleen rasiin vähintään kahdeksi kuukaudeksi. Seuraavassa esitetään hakkeen kosteus puiden varastoinnin tapahtuessa kassassa ja rasissa. Luvut osoittavat, että pienpuuraaka-aine kuivuu ainakin tiettyyn rajaan saakka rasissa tehokkaammin kuin kasoissa.

Varastointiaika, kk	Havupuun		Lehtipuun	
	Kassassa	Rasissa	Kassassa	Rasissa
	Kosteussuhde, %			
2	74	68	69	64
4	.	.	61	56
8	.	.	40	53



Kuva 9. Kokopuuhakkeen kosteussuhteen jakauma.
Fig. 9. Distribution of moisture content of whole-tree chips.



Kuva 10. Kokopuuhakkeen kuivan massan (kg/m³) jakauma.
Fig. 10. Distribution of dry weight (kg/m³) of whole-tree chips.

333. Hakkeen irtotilavuusyksikön massa

Taulukossa 18 esitetään myös havu- ja lehtipuuhakkeen tuore massa ennen kuljetusta ja sen jälkeen suoritetun mittauksen perusteella. Tilavuusyksikön tuore massa aleni varastointiajan pidetessä. Poikkeuksen muodosti tuore mäntyhake, joka jäi massaltaan alhaisemmaksi kuin puolet kasvukaudesta varastoitu raaka-aine. Ero johtuu siitä, että tuoreesta mäntyhakeesta pääosa kuormattiin ajoneuvoon heikosti puhaltavalla hakkurityyppillä tai palstahakkurin kuljetuskontista kippaamalla, jolloin kuorman tiheys muodostui alhaiseksi.

Lehtipuusta pääosa oli koivua, jonka puuaineen kuiva-tuoretiheys on korkeampi kuin havupuun. Tästä huolimatta lehtipuun irtotilavuusyksikön tuore massa jäi alhaisemmaksi kuin havuhakkeella, mikä johtuu lehtipuun alhaisemmasta kosteudesta ja pienokseen tiheyttä alentavasta vaikutuksesta (vrt. taulukko 19). Lehtipuuhakkeen irtotilavuusyksikön kuiva massa sen sijaan oli merkittävästi havuhaketta korkeampi.

Seuraavassa esitetään tilavuusyksikön tuore massa puolajettain. Leppähakkeen alhaisen massan täytyy aiheutua alhaisesta kosteudesta, sillä sen tilavuusyksikön kuiva massa kohosi lähelle koivuhakkeen tasoa.

Puulaji	Lähtiessä, kg/m ³		Perillä, kg/m ³	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Mänty	331	28,3	344	28,0
Koivu	315	28,0	326	27,6
Leppä	276	33,2	291	27,8

Varastointiaikojen, rasikuivatuksen ym. olosuhteiden vaihtelun vaikutus on nähtävissä myös lehti- ja havupuuhakkeen tuoreen massan korkeista keskihajontaluvuista. Tämän vuoksi on hakkeen painojen vertailu eri aineistojen kesken vaikeata alkuperätietoja esittämättä. **H a k k i l a n** ym. (1975) esittämät ensiharvennusmäntyä ja koivua koskevat massatiedot vastaavat hyvin tässä työssä esitettyjä.

Kokopuuhakkeen kuivaan massaan vaikuttavat kosteutta lukuunottamatta samat tekijät kuin tuoreeseen massaankin. Hakeusoloista johtuvien ja siten hakkeen tiivyyteen vaikuttavien tekijöiden ohella merkittävään on puuaineen tiheys, joka riippuu ennen kaikkea puulajista. Seuraava asetelma osoittaa kokopuuhakkeen kuivan massan auton kuormatilassa.

	Kuiva massa, kg/m ³		Hajonta, kg/m ³	
	Lähtiessä	Perillä	Lähtiessä	Perillä
Havupuu	155	162	19,4	18,3
Lehtipuu	175	182	12,8	12,8
Yhteensä	168	175	19,0	18,6

Lehtipuuhake on huomattavasti havuhaketta painavampaa, mikä johtuu pääasiassa koivun suuresta osuudesta hakkeessa. Taulukon 19 puulajeittaisia kuivamassoja esittävät luvut osoittavat, että leppä ei paljoakaan alentanut lehtipuuhakkeen kuivamassan keskiarvoa. Tämä johtuu osittain leppähakkeen sisältämästä koivupuuosuudesta.

Lehtipuuhakkeen massan keskihajonta oli pienempi ja jakauma tasaisempi kuin havuhakkeella ja eri hakelajien sekoituksella. Eriytyisen pieni oli tuoreen mänty- ja koivuhakkeen kuivan massan keskihajonta.

Hakkeen kuiva massa riippuu puulajin ohella suurella määrällä hakkeen tiivyydestä. Kokopuuhakkeen kuiva massa oli talviaikana huomattavasti korkeampi kuin kesällä, mikä ei kuitenkaan ole voinut johtua vuodenajan vaikutuksesta. Esimerkiksi teollisuushak-

keella ja purulla irtotiheyden tiedetään näet olevan talviaikana päin vastoin selvästi pienempi ja irtotilavuusyksikön massa alhaisempi kuin kesällä (U u s v a a r a 1972 ja 1974).

Jo aiemmin todettiin hakkurin puhallusvoiman lisäävän hakkeen tiivyyttä. Kun verrattiin keskenään eri hakkureilla noin 30-vuotiaasta puustosta valmistetun tuoreen mäntyhakkeen kuivaa massaa samalla työmaalla, saatiin seuraavat ennen kuljetusta suoritettuun mittaukseen perustuvat luvut.

Hakkuri	Kuiva massa, kg/m ³
Trelan D-60	144
TT 1500 T	156
TT 1500 L	162
Algol	181

Vertailu osoittaa, että irtotilavuusyksikön kuiva massa saattaa riippua hakkurin puhallusvoimasta enemmän kuin puulajista. Mainittakoon vertailuksi, että mänty- ja kuusi-sahanhakkeen sekä vanerihakkeen massat ovat U u s v a a r a n (1972 ja 1971) mukaan vastaavasti ennen kuljetusta 151, 141 ja 174 kg/m³.

334. Hakkeen kiintotilavuusprosentti

Hakkeen irtotilavuusyksikön ja kiintotilavuusyksikön massojen suhde eli kiintotilavuusprosentti riippuu hakkeen ominaisuudesta ja ajoneuvon kuormaustavasta. Koska kuorma painuu matkan aikana, kuljetuksen jälkeen mitatut kiintotilavuusprosentit ovat suurempia kuin lähtiessä saadut.

Taulukossa 19 esitetään eri puulajeista valmistetun kokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentti ennen ja jälkeen kuljetuksen. Tiheysarvot perustuvat eri puulajien irtotilavuusyksikön kuivan massan (s. 34) ja kiintotilavuusyksikön kuivan biomassan suhteisiin. Kunkin puulajin runkopuun puuaineen kuiva-tuoretiheys saatiin seuraavilla kaavoilla (H a k k i l a 1966 ja 1970).

$$y = 333,8 + 1,759x_1 - 0,00806x_2 \quad (\text{Mänty})$$

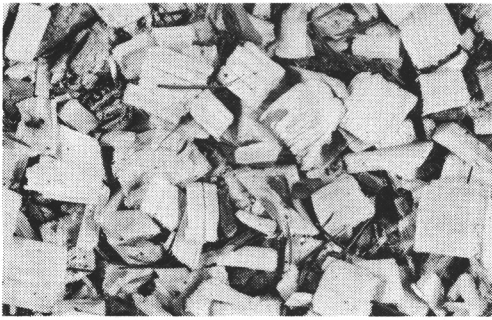
$$y = 425,3 + 1,565x_1 - 0,00850x_2 \quad (\text{Koivu})$$

$$y = 338,4 + 0,99x_1 \quad (\text{Leppä})$$

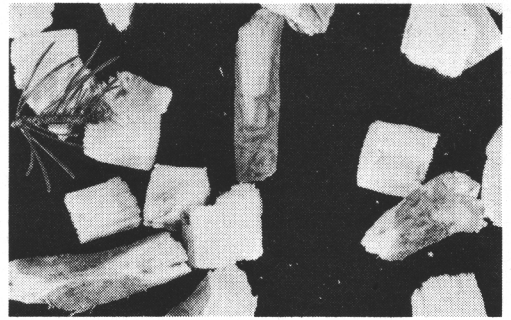
joissa y = puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m³

x_1 = puun ikä, a

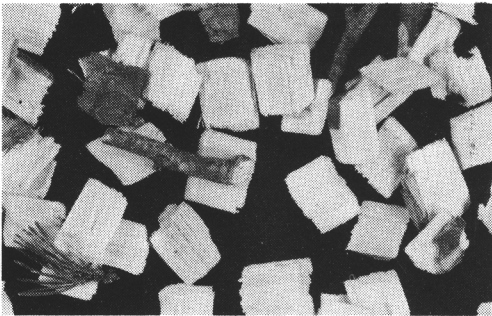
x_2 = puun iän neliö



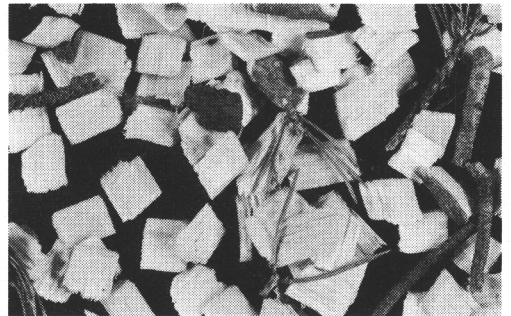
Seulomaton - *Unscreened*



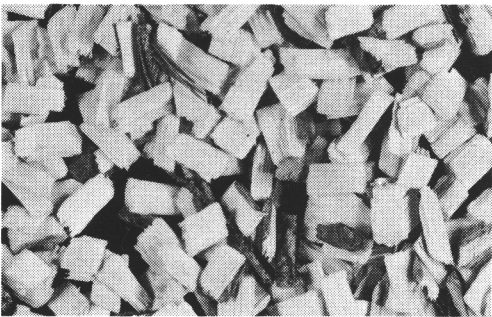
25-32 mm



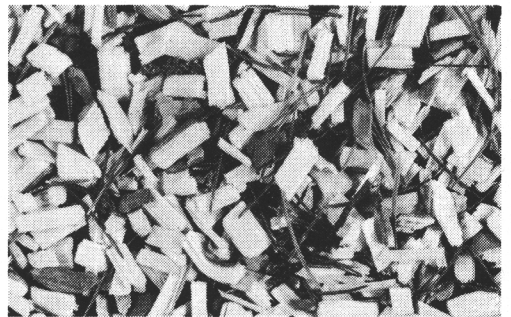
19-25 mm



16-19 mm



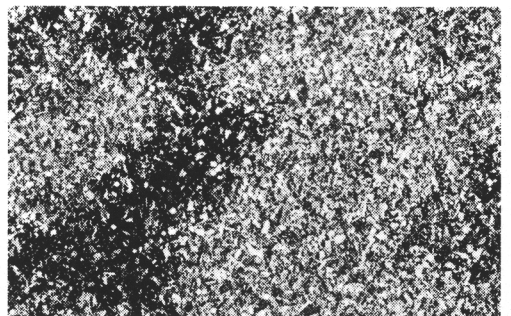
13-16 mm



6-13 mm

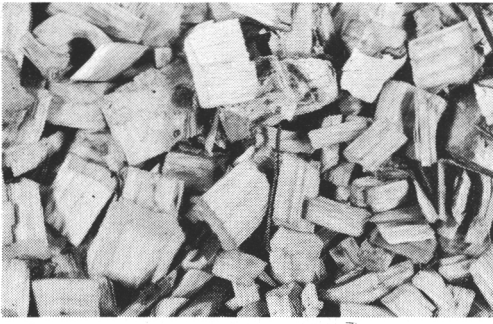


3-6 mm

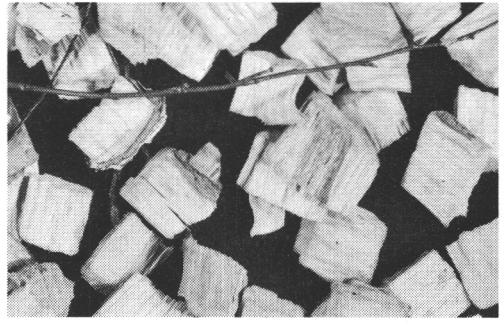


<3 mm

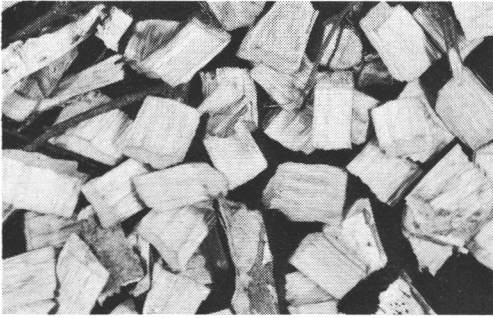
Kuva 11. Mäntykokopuusta valmistetun hakkeen seulontajakeet.
Fig. 11. The screening fractions of Scots pine whole-tree chips.



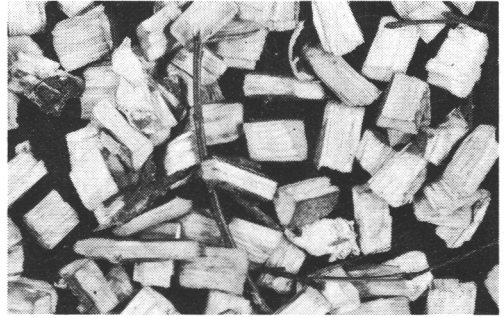
Seulomaton - *Unscreened*



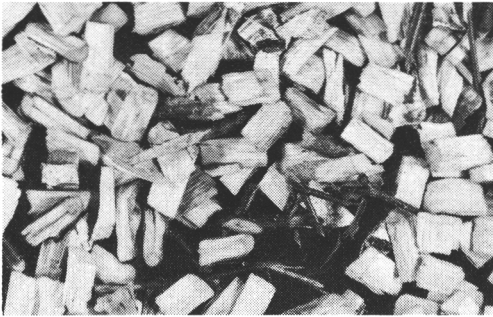
25-32 mm



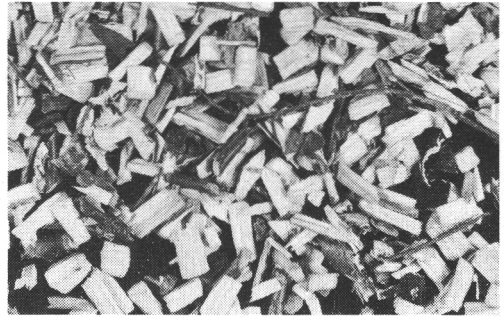
19-25 mm



16-19 mm



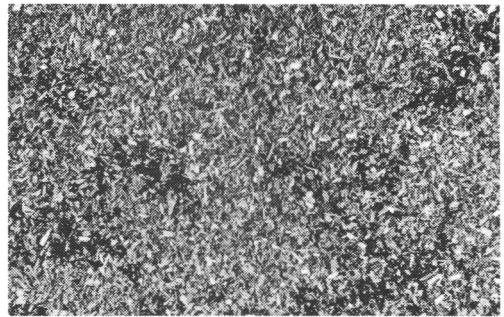
13-16 mm



6-13 mm



3-6 mm



<3 mm

Kuva 12. Koivukokopuusta valmistetun hakkeen seulontajakeet.
Fig. 12. The screening fractions of birch whole-tree chips.

Oksapuuta ja neulasia koskevat tiheysarvot perustuvat G i s l e r u d i n (1974a), ja kuoren tiheydet K ä r k k ä i s e n (1976) ja G i s l e r u d i n (1974a) tutkimuksiin. Biomassan eri komponenttien osuuksina käytettiin seuraavia käsillä olevassa työssä saatuja arvoja.

	Runko- puu	Oksat %	Kuori	Neulaset/ lehdet
Mänty	76,5	6,0	12,5	5,0
Koivu	77,0	7,0	16,0	—
Leppä	80,0	5,0	15,0	—

Taulukon 19 mukaan lepän kiintotilavuusprosentti on suurin ja koivun pienin. Tämä johtuu ilmeisesti osittain lepän suhteellisen vähäisestä oksaisuudesta muihin puulajeihin verrattuna.

Hakkeen irtotilavuusyksikön kuiva massa ja kiintotilavuusprosentti riippuvat suuressa määrin myös hakkeen kuormaustavasta ja hakkurin puhallusvoimasta (vrt. G i s l e r u d ja F a e s t e 1979). Verrattaessa eri hakkureilla valmistetun mäntyhakkeen kiintotilavuutta ennen kuljetusta saatiin seuraavat luvut. Hakkurin aiheuttama kiintotilavuusprosentin vaihtelu oli peräti 10 prosenttiyksikköä.

Hakkuri	Kiintotilavuus- prosentti
Trelan D-60	38,4
TT 1500 T	41,6
TT 1500 L	43,2
Algol	48,3

G i s l e r u d ja F a e s t e (1979) mainitsevat kokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentin suuruusluokan olevan 40–44.

335. Hakkeen koostumus

Puuaineen lisäksi kokopuuhake sisältää kuorta, oksia, lehtiä, neulasia ja silmuja. Osuudet vaihtelevat puiden koon, kasvutilan ja vuodenajan mukaan. Korjuumenetelmästä riippuen osa viheraineesta ja kuoresta irtoaa ja varisee varastoinnin, siirtelyn tai haketuksen yhteydessä.

Taulukossa 20 esitetään seulotun kokopuuhakkeen koostumus jakeittain. Koostumus selvitettiin kaikista muista paitsi alle 3 mm:n pölymäisestä jakeesta, jonka osuus on keskimäärin noin 3 % (taulukko 24).

Runkopuun osuus pienenee jyrkästi palakoon mukana ja on 3–6 mm:n jakeissa useissa tapauksissa alle puolet puupitoisimman 25–32 mm:n jakeen runkopuupitoisuudesta. Oksapuun määrä vaihtelee, mutta keskittymistä havaitaan 6–16 mm:n ja vastaavasti yli 32 mm:n jakeisiin. Kuoren ja viheraineen osuus kasvaa jyrkästi pienissä, alle 6 mm:n jakeissa (kuvat 11 ja 12).

Eri komponenttien osuus riippuu voimakkaasti puuston koosta ja latvussuhteesta. Puun kasvaessa näet oksien, lehtien ja neulasten suhteellinen osuus pienenee (taulukko 21, myös H a k k i l a 1971, H a k k i l a ym. 1975, 1977).

Kokopuuhakkeen koostumusta hakelajeittain kuvaa taulukko 22, johon on otettu vertailuksi mukaan lähes oksaton mänty- ja leppäranka. Eri aineiden osuudet on laskettu taulukon 20 jakaumista seulontatulosten antamien palakokojakaumien avulla painottaen

Taulukko 19. Kokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentti.
Table 19. Solid volume percentage of whole-tree chips.

Puulaji Species	Puuaineen tiheys, kg/m ³ Basic density kg/cu. m.	Kuivamassa, kg/m ³ Dry mass, kg/cu. m.		Kiintotilavuus, % Solid volume content, %	
		Lähtdessä On departure	Perillä On arrival	Lähtdessä On departure	Perillä On arrival
Mänty Pine	385	155	162	40,3	42,1
Koivu Birch	470	177	183	37,7	38,9
Leppä Alder	370	169	179	45,7	48,4

Taulukko 20. Kokopuuhaakkeen jakeittainen koostumus.

Table 20. Composition of whole-tree chips.

Jae, mm Fraction, mm	Runkopuu Stemwood	Oksapuu Branchwood	Kuori - Bark		Vihertaine Foliage	Yhteensä Total
			Irti Loose	Kiinni Fixed		
Tuore, lehdetön lehtipuu <i>Green, leafless hardwood</i>						
>32	83,6	5,2	0,2	11,0	—	100,0
25-32	89,1	3,3	0,2	7,4	—	100,0
19-25	86,2	3,9	1,0	8,9	—	100,0
13-19	78,8	8,9	3,4	7,5	0,1	100,0
6-13	64,2	8,8	15,5	11,5	—	100,0
3-6	48,3	2,9	43,0	4,5	1,3	100,0
Lehtipuu, viheraineesta varissut 0-30 % <i>Hardwood, foliage falling 0-30 %</i>						
>32	87,0	4,3	0,7	8,0	—	100,0
25-32	88,5	3,4	2,1	6,0	—	100,0
19-25	88,3	2,8	2,2	6,3	—	100,0
13-19	78,9	6,0	6,2	8,2	0,5	100,0
6-13	64,2	9,1	14,4	10,5	1,8	100,0
3-6	39,6	4,3	39,6	6,1	10,4	100,0
Lehtipuu, viheraineesta varissut 31-90 % <i>Hardwood, foliage falling 31-90 %</i>						
>32	77,5	13,9	—	8,9	—	100,0
25-32	86,7	5,4	0,3	7,6	—	100,0
19-25	84,2	6,3	0,8	8,7	—	100,0
13-19	75,9	10,0	3,4	10,4	0,1	100,0
6-13	64,6	9,4	11,9	12,1	2,0	100,0
3-6	44,1	4,8	33,9	4,7	12,5	100,0
Lehtipuu, ylivuotinen <i>Hardwood, over-yearled</i>						
>32	76,4	18,7	—	4,9	—	100,0
25-32	88,8	6,2	0,6	4,4	—	100,0
19-25	89,5	3,9	1,1	5,5	—	100,0
13-19	84,3	5,6	2,8	7,3	—	100,0
6-13	71,6	6,2	12,4	9,5	0,3	100,0
3-6	59,1	1,1	36,6	1,7	1,5	100,0
Havu-lehtipuu, viheraineesta varissut 0-30 % <i>Mixed, foliage falling 0-30 %</i>						
>32	82,0	7,2	0,1	10,5	0,2	100,0
25-32	83,0	6,4	1,0	9,2	0,4	100,0
19-25	72,7	11,0	2,1	13,1	1,1	100,0
13-19	75,2	8,6	3,9	10,8	1,4	100,0
6-13	63,8	8,2	11,5	12,2	4,3	100,0
3-6	42,9	1,4	28,9	2,8	24,0	100,0
Havu-lehtipuu, viheraineesta varissut 31-90 % <i>Mixed, foliage falling 31-90 %</i>						
>32	77,8	12,4	2,9	6,8	0,1	100,0
25-32	84,1	3,2	5,0	7,7	—	100,0
19-25	82,8	4,4	6,3	6,5	—	100,0
13-19	78,4	6,7	7,0	7,7	0,4	100,0
6-13	68,2	7,2	12,5	10,8	1,3	100,0
3-6	36,1	2,1	32,6	3,5	25,7	100,0
Havupuu, tuore <i>Softwood, green</i>						
>32	87,3	4,6	0,8	6,2	1,1	100,0
25-32	95,5	0,5	—	4,0	—	100,0
19-25	85,1	7,5	3,1	4,0	0,3	100,0
13-19	78,1	8,8	4,8	6,7	1,6	100,0
6-13	66,6	7,2	13,0	6,9	6,3	100,0
3-6	26,0	3,1	13,7	1,4	55,8	100,0
Havupuu, viheraineesta varissut 31-90 % <i>Softwood, foliage falling 31-90 %</i>						
>32	77,1	14,7	0,2	7,9	0,1	100,0
25-32	82,5	7,8	0,7	8,4	0,6	100,0
19-25	83,8	7,4	1,4	6,5	0,9	100,0
13-19	81,0	6,4	3,5	7,6	1,6	100,0
6-13	68,2	7,0	11,8	8,1	4,9	100,0
3-6	40,9	1,5	22,1	2,7	32,8	100,0

Taulukko 21. Runkojen läpimitan vaikutus kokopuuhakkeen koostumukseen.

Table 21. Effect of stem diameter on composition of whole-tree chips.

$D_{1,3}$, cm <i>Dbb</i> , cm	Runkopuu <i>Stemwood</i>	Oksapuu <i>Branchwood</i>	Irti <i>Loose</i>	Kuori - Bark Kiinni <i>Fixed</i>	Viherraine <i>Foliage</i>
Osuus hakkeen kuiva-aineesta, % - <i>Proportion of dry matter, %</i>					
Lehtipuu - <i>Hardwood chips</i>					
4	72,0	8,5	9,2	9,7	0,6
6	73,9	6,2	8,8	9,9	1,1
8	79,5	5,4	8,6	6,0	0,5
10	77,9	2,8	11,2	7,6	0,5
Havuhake - <i>Softwood chips</i>					
4	70,2	8,1	10,1	8,6	2,9
6	73,1	7,5	6,0	5,8	5,7
8	78,4	6,1	5,4	5,2	3,8
10	80,1	3,6	5,9	3,8	6,6

Taulukko 22. Kokopuuhakkeen koostumus. Mukana kaikki jakeet paitsi alle 3 mm.

Table 22. Composition of whole-tree chips. All fractions included except those smaller than 3 mm.

Hakelaji <i>Kind of chips</i>	Runkopuu <i>Stemwood</i>	Oksapuu <i>Branchwood</i>	Irti <i>Loose</i>	Kuori - Bark Kiinni <i>Fixed</i>	Yhteensä <i>Total</i>	Viherraine <i>Foliage</i>
%						
Lehtipuu 0* <i>Hardwood</i>	78,7	5,9	5,9	9,4	15,3	0,0
Lehtipuu 1 <i>Hardwood</i>	77,4	5,5	7,9	7,9	15,8	1,2
Lehtipuu 2 <i>Hardwood</i>	73,8	8,6	6,5	9,7	16,2	1,3
Lehtipuu, ylivuotinen <i>Hardwood, over-yearred</i>	80,6	6,6	6,1	6,5	12,6	0,1
Lehtipuu, keskim. <i>Hardwood, total</i>	77,4	6,7	6,4	8,9	15,3	0,6
Havupuu, tuore <i>Softwood, green</i>	80,1	5,9	4,7	5,4	10,1	3,9
Havupuu 1 <i>Softwood</i>	72,4	6,5	7,8	7,1	14,9	6,2
Havupuu, keskim. <i>Softwood, total</i>	74,7	6,8	6,3	6,8	13,1	5,4
Kaikki, keskim. <i>All</i>	76,1	6,6	6,9	8,0	14,9	2,3
Rankahake <i>Bole chips</i>	87,1	1,9	7,1	3,8	10,9	0,0

* 0 = lehdetön lehtipuu - *leafless hardwood*1 = viherraineesta varissut 0-30 % - *foliage falling 0-30 %*2 = viherraineesta varissut 31-90 % - *foliage falling 31-90 %*

(taulukko 24). Tästä syystä esimerkiksi tuoreen havuhakkeen runkopuuosuus on muodostunut – päinvastoin kuin voisi olettaa – suuremmaksi ja neulasosuuksien pienemmäksi kuin jonkin verran varisella havuhakkeella. Lehtipuu- ja havuhakkeen puupitoisuudet, kun oksapuukin on otettu huomioon, olivat keskimäärin 84 ja 81 % ja kuoripitoisuudet 15 ja 13 %. Neulasten osuus mäntyhakkeessa oli keskimäärin 5 %.

Lehtipuuhaake oli suurimmaksi osaksi koivua, mutta joukossa oleva leppähake on josakin määrin nostanut puupitoisuutta. Tämä ilmenee seuraavasta jakaumasta, jossa esitetään koostumus puulajeittain. Asetelma osoittaa pääasiassa puulajien välisiä eroja, koska se perustuu eri jakeiden keskiarvoina laskettuihin tuloksiin.

Puu- laji	Runko- puu	Oksa- puu	Kuori		Viher- aine
			Irti	Kiinni	
%					
Mänty	76,5	5,9	5,7	6,5	4,9
Koivu	72,2	7,7	9,5	9,6	1,0
Leppä	79,7	4,5	8,9	6,2	0,7

Taulukko 23 osoittaa kokopuuhaakkeen koostumuksen, kun alle 6 mm:n jae on poistettu. Puupitoisuus on kohonnut oleellisesti.

Ylisuurten hakepalojen poistaminen hienojakeen lisäksi sen sijaan ei parantanut puupitoisuutta, vaan pikemminkin hieman laski sitä.

Äärijakeet poistamalla voitiin hakkeen runkopuuosuutta nostaa keskimäärin 2,1 prosenttiyksikköä sekä samalla kuoren ja viheraineen osuutta vähentää 1,2 ja 2,4 prosenttiyksikköä. Oksien määrään ylisuurten ja hienojakeitten poistamisella ei ollut vaikutusta. Korostettakoon kuitenkin, että leimoittien väliset vaihtelut olivat suuret.

Kokopuuhaakkeen eri osasten jakaumaa ei ole meillä tähän mennessä paljoa tutkittu. Raaka-aineen eli puun maanpäällisen osan biomassasta on sen sijaan tehty selvityksiä (mm. Hakki-la ym. 1975, Hakki-la ym. 1978). Vaikka tulokset eivät olekaan täysin vertailukelpoisia tässä työssä saatuihin, esitetäkään jälkimmäisestä tutkimuksesta lukusarja, joka kuvaa talvikaatoisen koivun ja ensiharvennumännyn biomassan rakennetta.

	Puu- aine	Kuori	Vitsa- oksat	Viher- aine
%				
Koivu talvella	75	19	6	—
Ensiharvennumänty	75	15	4	6

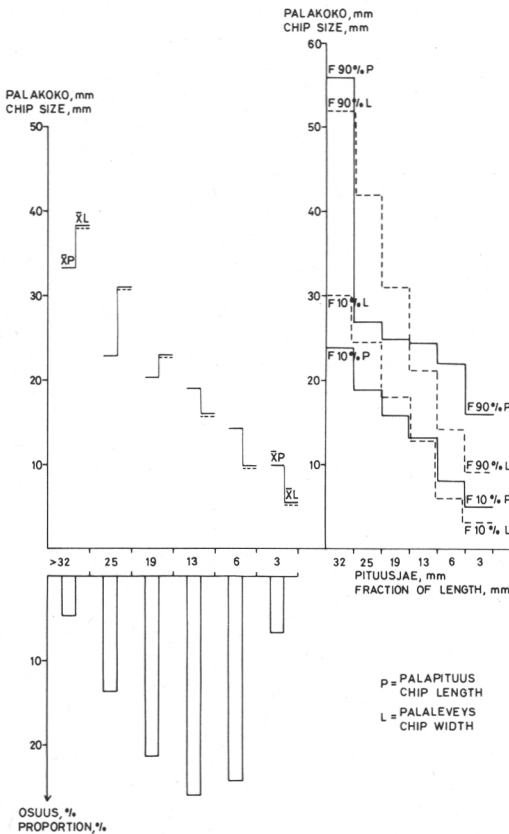
Taulukko 23. Kokopuuhaakkeen koostumus. Alle 6 mm jakeet on poistettu.

Table 23. Composition of whole-tree chips. Fractions smaller than 6 mm omitted.

Hakelaji ja varisemisaste Kind of chips and degree of fall	Runkopuu Stemwood	Oksapuu Branchwood	Irti Loose	Kuori – Bark Kiinni Fixed	Yhteensä Total	Viheraine Foliage
%						
Lehtipuu 0 Hardwood	79,9	6,0	4,5	9,6	14,1	0,0
Lehtipuu 1 Hardwood	79,3	5,5	6,4	8,0	14,4	0,7
Lehtipuu 2 Hardwood	75,9	8,8	4,6	10,1	14,7	0,6
Lehtipuu, ylivuotinen Hardwood, over-yearred	81,9	7,0	4,3	6,8	11,1	0,0
Havupuu, tuore Softwood, green	82,4	6,0	4,3	5,5	9,8	1,7
Havupuu 1 Softwood	76,7	7,2	5,8	7,7	11,9	2,6

Hakkeen palakokoa tutkittiin Williams-seulalla sekä reikä- että rakolevyin, jolloin seulan tulisi jakaa hake eri levyille palojen pituuden tai yleensä suurimman ulottuvuuden mukaan. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu, vaan saatu pituusjakauma saattaa olla jossain määrin virheellinen. Tätä tutkittiin mittaamalla joistakin seulontanäytteistä käsin eri levyille kertyneiden hakepalojen todelliset pituudet ja leveydet.

Kuvassa 13 esitetään vasemmalla jakeitain palojen pituuksien ja leveyksien keskiarvot (\bar{x} P ja \bar{x} L). Kuvan oikeanpuoleisessa osassa ylempi kokonainen viiva esittää pituutta, joita lyhyempiä oli 90 % kaikista paloista ja alempi viiva pituutta, joita pitem-



Kuva 13. Kokopuuhakkeen mitattu pituus- ja leveysjakauma sekä seulontajakauma (alinna).

Fig. 13. Measured length and thickness distribution of whole-tree chips and screened distribution (undermost).

piä oli 90 % jakeen paloista (F 90 % P ja F 10 % P). Katkoviiva kuvaa vastaavasti hakepalojen leveyksien jakaumaa (F 90 % L ja F 10 % L, vrt. M ä k e l ä 1977).

Hakepalojen todellinen syiden suuntainen pituus on jonkin verran suurempi kuin seulonnan mukaan pitäisi olla. Seula on jakanut hakkeen pienissä jakeissa pääasiassa palojen leveyden, suurissa pituuden ja keskimmissä ryhmissä osittain molempien ulottuvuuksien perusteella. M ä k e l ä (1977) totesi vastaavanlaisessa kokeessa rasissa kuivuneesta mänty- ja leppäkokopuusta Algol-hakurilla tehdyn hakkeen mitatun pituuden kaikissa jakeissa huomattavasti suuremmaksi kuin seulontajakauman pitäisi osoittaa. Vaikka seulonnan tulokset eivät vastaa täysin todellisuutta, virheellä ei liene käytännössä kuitenkaan merkitystä, joskin sellua keitetessä palojen muoto syiden suuntaan nähden vaikuttaa jossakin määrin keittonesteitten imeytymiseen.

Seuraavassa esitetään normaalin runkopuun ohella eri seulalevyille joutuneiden rungon ulkoisten oksien mitatut keskipituu-

Jae, mm	Oksa, mm
>32	167
25	125
19	85
16	74
13	75
6	60
3	(62)

Taulukoissa 24 - 27 esitetään kokopuuhakkeen keskimääräinen pituus- ja paksuusjakauma sekä jakaumat hakelajeittain eri vuodenaikoina. Talviaikana, erityisesti kovilla pakkasilla suoritettu haketus aiheuttaa hakepalojen pituuden ja paksuuden pienene- mistä ja hienomurskeen lisääntymistä. Vaikka- kakin ryhmien väliset erot useasti aiheutuvat haketusolojen vaihtelusta, aiheuttavat myös puulaji ja varisemisaste eroja jakaumissa.

Hakkeen erikoisluonteesta johtuen ns. ääri- jakeitten, yli 32 ja alle 6 mm:n jakeitten, osuus muodostui korkeaksi ollen lehti- ja havupuuhakkeella keskimäärin 15,0 ja 19,0 %. Paksuusjakaumassa jakeet 6-2 mm muodostavat jyrkän huipun (taulukot

Taulukko 24. Kokopuuhakkeen pituusjakauma.
Table 24. Length distribution of whole-tree chips.

Hakelaji Kind of chips	> 32	32-25	Pituusjake, mm - Fraction of length, mm				
			25-19	19-13	13-6	6-3	< 3
%							
Lehtipuu 0 Hardwood	7,0	17,0	25,1	25,6	19,9	3,6	1,8
Lehtipuu 1 Hardwood	5,5	14,7	22,2	26,3	24,5	4,5	2,3
Lehtipuu 2 Hardwood	8,1	11,9	18,8	25,8	25,4	6,5	3,5
Lehtipuu, ylivuotinen Hardwood, over-yearled	10,6	12,9	19,5	25,2	23,3	5,5	3,0
Lehtipuu keskim. Hardwood total	7,4	15,0	22,6	35,7	22,1	4,7	2,0
Havupuu, tuore Softwood, green	13,0	18,9	21,5	24,8	16,7	4,0	1,1
Havupuu 1 Softwood	2,9	7,5	15,0	26,2	30,5	11,3	6,6
Havupuu keskim. Softwood total	6,9	12,0	17,6	25,6	25,1	8,4	4,4
Kaikki keskim. All	7,2	14,0	20,5	25,4	23,2	6,3	3,3
Rankahake Bole chips	13,4	17,6	20,4	22,9	19,3	4,3	2,0

25, 29, 31 ja kuvat 14 ja 15). Niiden osuus kattaa noin 55 % koko paksuusjakaumasta.

Taulukoissa 28-31 kuvataan palakokoja-kaumaa hakkureittain, sekä hakettavan puuston koon perusteella. On korostettava, että hakkeen palakokoon vaikuttavat samanaikaisesti monet työmaakohtaiset tekijät. Näin ollen eri hakkurien välisiä jakaumia ei voi vertailla tuntematta esimerkiksi puuston laatua ja kokoa, hakkurin terien ja vastaterien säätöä ja kuntoa, syöttö- ja kierrosnopeuden synkronointia ja vallitsevia lämpöoloja. Tästä syystä palakokojakaumaa koskevia taulukoita, erityisesti taulukoita 28 ja 29, on tarkasteltava vain suuntaa antavina. Aineistoa ryhmittelemällä voidaan kuitenkin tiettyjen tekijöiden vaikutusta jossakin määrin selittää.

Taulukot 30-31 sekä kuva 14 osoittavat hakkeen palakoon kasvavan puun läpimitan

kasvaessa ja suhteellisen oksapuuosuuden pienentyessä. Sama nähdään myös järjestettyjen kokeiden perusteella (kuva 15), joissa Trelan D-60 hakkurilla hakettiin terävillä terillä ja laitteiston säädön pysyessä muuttumattomana paksuusluokkiin ryhmiteltyä mäntykokopuuta.

Terien tylsyminen vaikuttaa hakkeen palakoon pienemiseen sekä palojen puuaineen rakenteen rikkoutumiseen. Kuvan 15 esittämissä kokeissa Trelan D-60 hakkurin valmistamasta mäntyhakkeesta otettiin näyte ennen terien vaihtoa sekä heti terien vaihdon jälkeen. Terien tylsyminen pienensi pitkien jakeiden osuutta ja lisäsi vastaavasti lyhyiden jakeiden osuutta noin 2 prosenttiyksikköä. Palojen paksuutta tarkastellen tylsät terät aiheuttivat 4-5 prosenttiyksikön lisäyksen 4 mm ohuempiin lastujakeisiin.

Taulukko 25. Kokopuuhakkeen paksuusjakauma.
 Table 25. Thickness distribution of whole-tree chips.

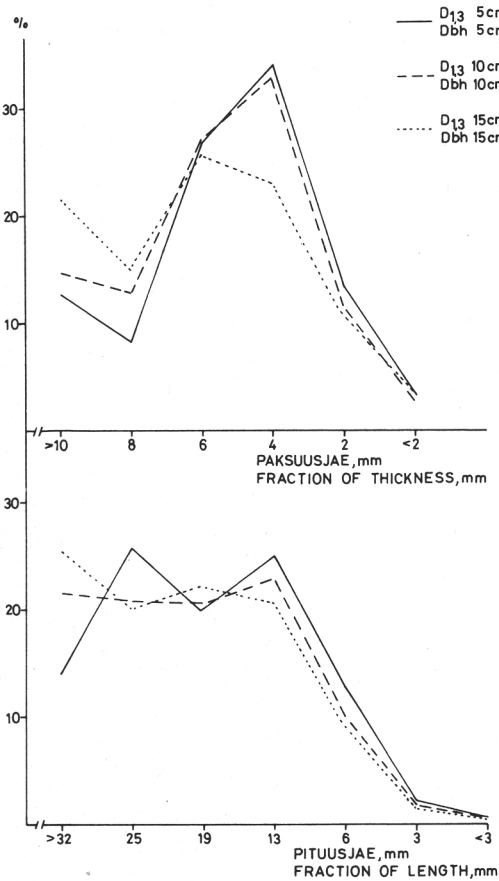
Hakelaji Kind of chips	> 10	Paksuusjake, mm - Fraction of thickness, mm			4-2	< 2
		10-8	8-6	6-4		
		%				
Lehtipuu 0 Hardwood	6,5	6,5	13,8	35,0	28,1	10,1
Lehtipuu 1 Hardwood	4,7	4,6	10,4	36,2	32,4	11,7
Lehtipuu 2 Hardwood	8,2	7,8	15,4	28,0	26,0	14,6
Lehtipuu, ylivuotinen Hardwood, over-yearred	13,7	7,9	16,0	27,8	22,6	12,0
Lehtipuu keskim. Hardwood total	7,3	6,9	14,3	32,4	27,4	11,7
Havupuu, tuore Softwood, green	12,2	9,8	20,6	31,7	18,2	7,5
Havupuu 1 Softwood	5,6	5,6	12,2	25,5	27,9	23,2
Havupuu keskim. Softwood total	8,2	7,2	15,5	28,0	24,1	17,0
Kaikki keskim. All	7,8	7,1	15,1	30,3	26,0	13,7
Rankahake Bole chips	12,3	11,1	19,2	27,0	19,7	10,7

Taulukko 26. Vuodenajan vaikutus kokopuuhakkeen palakokojakaumaan. Pituusjake.
 Table 26. Effect of season on size distribution of whole-tree chips. Fraction of length.

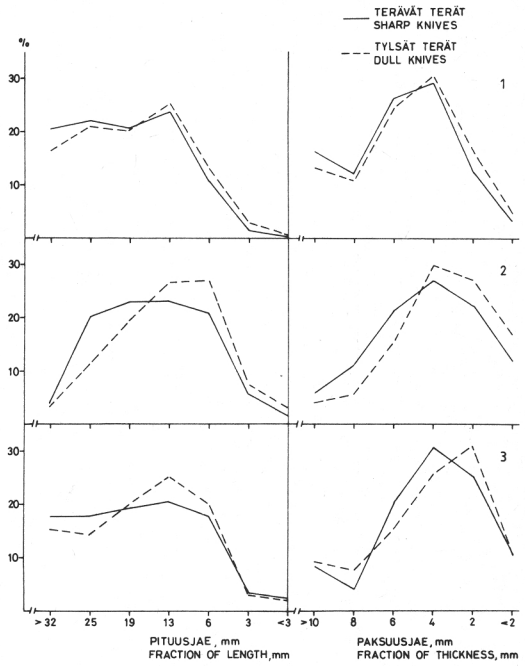
Hakelaji Kind of chips	>32	Pituusjake, mm - Fraction of length, mm					<3	Näytteitä, kpl Number of samples
		32-25	25-19	19-13	13-6	6-3		
		Kesä, % - Summer, %						
Lehtipuuahake Hardwood chips	6,8	13,1	20,2	25,9	24,5	6,1	3,4	19
Havuhake Softwood chips	9,1	17,1	21,6	26,1	19,7	4,6	1,8	30
		Talvi, % - Winter, %						
Lehtipuuahake Hardwood chips	7,4	16,0	23,6	25,7	21,0	4,1	2,2	57
Havuhake Softwood chips	3,4	8,0	13,8	24,6	30,6	12,2	7,4	21

Taulukko 27. Vuodenajan vaikutus kokopuuhakkeen palakokojakaumaan. Paksuusjae.
 Table 27. Effect of season on size distribution of whole-tree chips. Fraction of thickness.

Hakelaji Kind of chips	Paksuusjae, mm - Fraction of thickness, mm						Näytteitä, kpl Number of samples
	>10	10-8	8-6	6-4	4-2	<2	
Kesä, % - Summer, %							
Lehtipuu Hardwood chips	8,0	7,5	17,1	30,3	24,5	12,6	19
Havuhake Softwood chips	10,2	8,9	20,4	31,3	19,9	9,3	31
Talvi, % - Winter, %							
Lehtipuu Hardwood chips	7,2	6,9	13,9	32,9	27,9	11,3	58
Havuhake Softwood chips	6,2	6,1	11,3	23,3	28,9	24,2	21



Kuva 14. Puun läpimitan vaikutus tuoreen mäntykokopuuhakkeen palakokojakaumaan.
 Fig. 14. Effect of tree diameter on size distribution of green Scots pine whole-tree chips.



Kuva 15. Terien kunnan vaikutus kokopuuhakkeen pituus- ja paksuusjakaumaan. (1 = mäntyhake, hakkuri Trelan D 60, kesäaika, 2 = havu-lehtipuu-hake, hakkuri TT 1500 L, talviaika, 3 = lehti-havupuuhake, hakkuri Trelan D 60, kesäaika).
 Fig. 15. Effect of condition of chipper knives on length and thickness distribution of whole-tree chips. (1 = pine chips, Trelan D 60 chipper, summertime. 2 = softwood/hardwood chips, TT 1500 L chipper, wintertime. 3 = hardwood/softwood chips, Trelan D 60 chipper, summertime).

Taulukko 28. Kokopuuhakkeen pituusjakauma hakkureittain.

Table 28. Fraction of length of whole-tree chips by chippers.

Hakkurityyppi Type of chipper	Hakelaji Kind of chips	Pituusjae, mm - Fraction of length, mm						Näytteitä, kpl Number of samples	
		<32	32-25	25-19	19-13	13-6	6-3		
		%							
TT 1500 L	Havupuu Softwood	5,5	13,2	16,2	22,5	26,6	9,8	6,2	9
	Sekapuu Mixed	4,0	6,9	12,1	27,6	30,5	12,9	6,0	4
	Lehtipuu Hardwood	7,1	12,6	19,4	26,3	25,0	6,5	3,6	26
Trelan D-60	Havupuu Softwood	13,2	18,6	21,2	24,6	17,0	4,0	1,2	16
	Sekapuu Mixed	7,9	11,0	19,5	25,4	25,3	7,1	3,7	13
	Lehtipuu Hardwood	7,9	17,3	24,5	24,9	19,8	3,5	2,2	46
TT 1000 F	Havupuu Softwood	3,2	13,1	22,0	30,1	24,2	5,5	2,0	10
	Sekapuu Mixed	..	..	..	..	..	..	..	..
	Lehtipuu Hardwood	3,8	24,4	28,1	31,0	9,7	2,1	1,0	2
TT 1500 T	Havupuu Softwood	2,0	5,0	12,5	26,9	32,5	12,6	8,5	10

Taulukko 29. Kokopuuhakkeen paksuusjakauma hakkureittain.

Table 29. Fraction of thickness of whole-tree chips by chippers.

Hakkurityyppi Type of chipper	Hakelaji Kind of chips	Paksuusjae, mm - Fraction of thickness, mm					Näytteitä, kpl Number of samples	
		>10	10-8	8-6	6-4	4-2		
		%						
TT 1500 L	Havupuu Softwood	9,9	8,3	15,7	26,5	21,1	18,5	9
	Sekapuu Mixed	5,0	5,3	10,4	22,1	27,7	29,5	4
	Lehtipuu Hardwood	8,4	8,6	18,1	29,1	22,8	13,0	24
Trelan D-60	Havupuu Softwood	12,2	9,7	20,3	31,4	18,6	7,8	16
	Sekapuu Mixed	7,1	6,4	14,2	28,3	28,3	15,6	13
	Lehtipuu Hardwood	7,0	6,5	13,2	33,5	28,9	11,0	55
TT 1000 F	Havupuu Softwood	6,0	7,5	21,3	31,8	22,6	10,8	10
	Sekapuu Mixed	..	..	..	..	..	..	..
	Lehtipuu Hardwood	..	..	..	..	..	..	..
TT 1500 T	Havupuu Softwood	4,4	4,1	7,8	22,5	32,9	28,3	10

Taulukko 30. Runkojen läpimitan vaikutus kokopuu-
hakkeen palakokojakaumaan. Pituusjae.
Table 30. Effect of stem diameter on size distribution of
whole-tree chips. Fraction of length.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Pituusjae, mm - Fraction of length, mm						
	>32	32-25	25-19	19-13	13-6	6-3	<3
	%						
	Lehtipuuhake - Hardwood chips						
4	6,8	11,9	18,7	26,7	25,7	6,5	3,7
6	8,2	14,6	21,9	25,7	22,3	4,7	2,6
8	6,7	15,9	25,4	25,9	20,2	3,8	2,1
10	5,1	24,7	31,8	24,0	12,8	1,1	0,5
12	10,2	26,7	30,0	20,3	10,7	1,2	0,9
14	..	..	..	..	..	..	..
>14	7,5	26,1	30,4	22,9	11,4	1,1	0,6
	Sekahake - Mixed						
4	5,8	6,7	18,4	26,3	29,9	8,7	4,3
6	4,7	8,5	15,9	27,0	28,7	10,3	4,9
8	4,1	9,1	19,6	25,4	27,4	9,9	4,5
10*	12,5	15,1	19,5	25,3	21,0	4,0	2,7
12*	16,4	16,0	19,7	22,9	19,0	3,3	2,7
	Havuhake - Softwood chips						
4	4,4	13,7	18,2	22,1	26,3	9,5	5,7
6	2,6	7,7	15,3	27,8	30,1	11,0	6,1
8	3,4	8,4	14,8	25,2	30,1	11,5	6,7
10	10,9	17,9	21,1	24,4	19,0	4,8	2,0
12	..	..	..	..	..	..	..
14	25,3	20,1	22,3	21,4	8,9	1,8	0,2

* Joukossa tukkipuiden latvoja
Partly tops of sawtimber trees

Taulukko 31. Runkojen läpimitan vaikutus kokopuu-
hakkeen palakokojakaumaan. Paksuusjae.
Table 31. Effect of stem diameter on size distribution of
whole-tree chips. Fraction of thickness.

D _{1,3} , cm Dbh, cm	Paksuusjae, mm - Fraction of thickness, mm					
	>10	10-8	8-6	6-4	4-2	<2
	%					
	Lehtipuuhake - Hardwood chips					
4	7,8	7,9	14,9	26,9	26,2	16,4
6	7,6	7,3	15,4	30,2	27,1	12,4
8	7,2	6,7	14,5	33,6	27,5	10,5
10	4,0	5,4	12,2	45,0	28,8	4,5
12	7,4	6,2	10,9	42,8	28,4	4,3
14	..	..	..	..	..	..
>14	5,5	4,0	10,6	46,1	29,4	4,4
	Sekahake - Mixed					
4	7,8	8,8	18,6	28,8	22,1	13,9
6	6,1	5,9	12,0	27,5	28,2	20,3
8	6,3	5,2	10,7	29,7	28,5	19,6
10	8,7	7,4	17,5	25,1	30,5	10,9
12	9,2	5,9	17,8	28,2	28,3	10,6
	Havuhake - Softwood chips					
4	8,3	8,9	18,8	27,6	20,8	15,5
6	5,8	5,7	11,0	24,0	28,3	25,2
8	6,5	6,7	15,6	25,9	26,5	18,7
10	11,6	9,4	19,4	31,4	19,3	8,9
12	..	..	..	..	..	..
14	21,7	14,8	25,0	22,9	11,8	3,8

4. KÄYTÄNNÖN NÄKÖKOHTIA

Pystymittausta joudutaan käyttämään silloin, kun kokopuuraaka-aineen pino- tai hakemittaus ei ole mahdollista. Pienikokoisen puuston pystymittauksella on käytännössä useita heikkouksia kokopuuraaka-aineen mittausmenetelmänä. Raaka-ainekertymän jäädessä pinta-alayksikköä kohti alhaiseksi pystymittaus on työläs ja aikaavievä ja tulee siitä syystä mitattavan puutavaran arvoon nähden kohtuuttoman kalliiksi. Sen etuna on kuitenkin erikoisesti kuitupuusouden selville saaminen mittauksen yhteydessä.

Kokopuuna korjattavien leimikoitten puuston keskitilavuus on alhainen ja poistettava runkoluku pinta-alayksikköä kohden suuri. Tällaisten kohteitten pystymittaus yk-

sinpuin lukien olisi liian kallista. Siksi käytännössäkin on päädytty kokopuuleimikoitten linjoittaiseen koelala-arviointiin.

Pystymittauksessa selvitetään puustotiedot samalla kertaa sekä yksikköpalkan että kauppahinnan laskentaa varten. Kokeiluissa käytettävästä mittausmenetelmästä on sovittu metsä- ja uittoalan tes-neuvottelukuntien kesken (Pieniläpimitaisen kokopuun. . . 1979).

Kokopuuraaka-aineen kauppahinnan määrittämistä varten lähtökohtana käytetään pystymittauksella saatua runkopuun kokonaistilavuutta. Kokopuuraaka-aineen kauppahinnan määrittämistä varten tulee olla selvillä leimikosta hakattavan puuston koko

biomassa sekä sen jakautuminen markkinakelpoisen kuitupuun, hukkarunkopuun ja oksien kesken.

Linjoittaisen koela-arvioinnin tai aivan pienissä leimikoissa yksinpuin luvun tulosten perusteella saadaan taulukoista 7–10 puuston biomassassa, oksien määrä ja runkopuun määrä. Vähimmäisläpimitan täyttävän kuitupuun määrä saadaan vähentämällä taulukoitten 7–10 osoittamasta runkopuun määrästä hukkarunkopuu taulukoitten 11 ja 12 keskimääräisiä läpimittaluokittaisia prosenttilukuja käyttäen.

Kokopuumenetelmällä tavaralajimenetelmään verrattuna saatavan lisäraaka-aineen määrä saadaan, kun lasketaan yhteen hukkarunkopuun ja oksien määrät.

Osana tätä tutkimusta on kehitelty *pinomittausmenetelmää* välivarastolle kasatun kokopuuraaka-aineen kiintotilavuuden selvittämiseksi. Kokopuun pinomittauksessa määritetään kokonaisista tai katkaistuista puista ladotun pinon kehystilavuus pituus-, leveys- ja korkeusmittausten avulla. Kehystilavuudesta päästään kiintotilavuuteen pinon tiivyyttä osoittavan muuntoluvun avulla, joka tutkimusaineistossa oli männyllä keskimäärin 0,281 ja koivulla vastaavasti 0,234.

Männyn osalta tulosta voidaan tarkentaa regressioyhtälöllä, joka antaa kokopuupinon pinotiiviyksluvun keskimääräisen kantoläpimitan ja pinon etukorkeuden funktiona. Pinon tiiviyys lisääntyy puitten järeytymisen ja pinon korkeuden kasvun myötä. Lehtipuun osalta tarvitaan lisäaineistoa muuntolukujen määrittämiseksi.

Kokopuuraaka-aineen pinomittaus ei ole yhtä tarkka kuin hake- ja pystymittaus. Käytännössä siihen on kuitenkin turvaudut-

tava tilanteissa, jolloin esimerkiksi kustannussyistä ei ole tarkoituksenmukaista käyttää pystymittausta ja hakemittaus ei ole mahdollinen oston ja haketuksen välisen viiveen vuoksi.

Kokopuut pinotaan välivarastolla yleensä koneellisesti kuormatraktorin kouralla. Mittausten luotettavuuden kannalta on tärkeää, että pinot tehdään muodoltaan säännöllisiksi, mahdollisimman paljon kuitupuupinoja vastaaviksi ja helposti mitattaviksi.

Edullisin pinon korkeus mittaustapahtuman kannalta on noin kaksi metriä, jolloin korkeuden ja leveyden mittaukset voidaan tehdä vielä luotettavasti. Kokopuupinojen korkeus määräytyy lisäksi kuitenkin myös varastotilan ja haketustyön tuotoksen ja joustavuuden pohjalta. Useita hakkureita (esim. Trelan, TT 1500 T ja TT 1500 L) varten yli 2 m korkeat pinot ovat suotavia, koska tällöin hakkurin ja hakeauton ei tarvitse siirtyä kovin usein. Pinon sopiva korkeus riippuu myös hakkurin syöttöaukon sijainnista. Käsisyöttöisiä isännän linjan hakkureita varten pinot on jätettävä mataliksi.

Korkeita pinoja mitattaessa leveyden ja korkeuden mittaus edellyttää ehdottomasti kahta miestä. Leveyden mittausta voidaan helpottaa keppi-mittanauhayhdistelmällä. Tällöin toinen mittamies asettaa kepin pinon takakorkeuden mittauskohdalle huomioiden ylipitkien latvusten tasoituksen korkeuteen. Toinen mittamies asettaa mittanauhan pinon päällä vastaavaan etukorkeudenmittauskohtaan.

Pinomittauksen heikohkoa tarkkuutta osoittaa pinotiiviyksluvun pinokohtainen hajonta prosentteina sen keskiarvosta. Männyllä se oli 17,8 %, koivulla 13,2 % ja ylivuotisella lepällä 18,1 %.

5. TIIVISTELMÄ

Tutkimus muodostuu kolmesta osasta, joista ensimmäinen käsittelee kokopuuraaka-aineen kiintotilavuuden selvittämistä pystymittauksen ja toinen pinomittauksen perusteella. Kolmannessa osatutkimuksessa tarkastellaan kokopuuhakkeen mittauksen ja käytön kannalta merkityksellisiä ominaisuuksia. Työ suoritettiin kokopuuhaketta käyttävien teollisuuslaitosten käytännön työmailla.

Pystymittauksen tutkimustulokset:

Etelä- ja Pohjois-Suomesta kerättyjen koepuuaineistojen pohjalta laadittiin pienikokoiselle männylle ja kuuselle kokopuun, oksien ja rungon tuoremassaa ja tilavuutta kuvaavat regressioyhtälöt ja niitä vastaavat taulukot. Selittävinä muuttajina olivat puun rinnankorkeusläpimitta ja pituus. Keskimääräiset hukkapuosuudet tehtäessä 2-m, 3-m tai vapaanpituista kuitupuuta sekä biomassan ja varsinaisen puuaineen jakauma kuitupuun, runkohukkapuun ja oksien kesken laskeettiin läpimittaluokittain.

Pinomittauksen tutkimustulokset:

Pinomittauksessa kokopuupinon kehystilavuus saatiin mittaamalla pinon pituus, leveys ja korkeus. Kiintotilavuuteen päästiin kertomalla kehystilavuus pinotiiviysluvulla, joka osoittaa pinon kiintotilavuuden ja kehystilavuuden suhteen. Kokopuumännällä pinotiiviysluvuksi saatiin .281, koivulla .234 ja ylivuotisella lepällä .144. Tulosta tarkennettiin männyn osalta regressioyhtälöllä $y=0,157 + 0,020x_1 (\pm 0,009) + 0,008x_2 (\pm 0,004)$, jossa x_1 = pinon etukorkeus ja x_2 = kantoläpimitta. Lepän osalta luotettavien lukujen saaminen edellyttää lisäaineiston keräämistä. Pinotiiviysluvut on laadittu siten, että kiintotilavuudesta puutuu haketusvaiheessa hukkaantuva osa raaka-aineesta.

Pinomittauksen tarkkuutta osoittaa pinotiiviysluvun pinokohtainen hajonta prosentina sen keskiarvosta (variaatiokerroin).

Männyllä tämä oli 17,8 %, koivulla 13,2 % ja ylivuotisella lepällä 18,1 %.

Hakemittauksen tutkimustulokset:

Kuljetuksen aikana tapahtui kokopuuhakekuormissa painumista, joka oli kesällä keskimäärin 5,3 ja talviaikana 3,2 %. Veto-vaunun vajoama oli alhaisempi (2,8 %) kuin perävaununalla (5,2 %).

Hakkeen kosteussuhde aleni ja kuiva-ainepitoisuus kohosi vastaavasti kun runkoja säilytettiin kasvukauden aikana kasalla tai leväällä ennen haketusta. Lehti- ja havupuuhakkeen kosteussuhteet olivat keskimäärin 72 ja 118 %, mutta puuston kosteuden vaihtelut olivat suuret varsinkin kaksi kasvukautta tai kauemmin kasassa säilytetyllä puulla.

Lehti- ja havupuuhake painoivat 305 ja 335 kg/m³ ennen sekä 316 ja 347 kg/m³ jälkeen kuljetuksen suoritetun punnituksen perusteella. Tilavuusyksikön tuore massa vaihteli kuitenkin paljon pääasiassa puustosta, runkojen varastointiajasta ja haketusolosuhteista riippuen. Tuoreen massan keskihajonta ennen kuljetusta oli 32 kg/m³ eli kummallakin hakelajilla noin 10 % keskiarvosta.

Lehti- ja havupuuhakkeen irtotilavuusyksikön kuivamassat olivat lähtiessä mitattuina 175 ja 155 kg/m³ sekä käyttöpaikalla 182 ja 162 kg/m³. Kun kuivamassoja verrattiin puulajin perusteella saatiin mänty-, koivu- ja leppähakkeen massoiksi ennen kuljetusta 152, 177 ja 169 kg/m³. Kuivan massan ja kiintotilavuusyksikön kuivan biomassan avulla lasketut mänty-, koivu- ja leppäkokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentit olivat 40,3, 37,7 ja 45,7 lähtömittauksen sekä 42,1, 38,9 ja 48,4 vastaanottomittauksen perusteella.

Kokopuuhakkeen sisältämä käytön kannalta tärkeä runkopuupitoisuus oli suurin seulontajakeissa 19–32 mm, kun taas jalostusta haittaavat neulas-, lehti- ja kuoripitoisuudet olivat huomattavan korkeat 13 mm

pienimmissä jakeissa. Kokeet osoittivat, että hakkeen puupitoisuutta, joka keskimäärin oli lehtipuulla 77,4 ja havupuulla 74,7 %, voitiin nostaa keskimäärin 2,3 % kun alle 6 mm:n hienojae seulottiin pois.

Kokopuuhakkeen palojen pituusjakaumasta 69 % keskittyi jakeisiin 6–25 mm ja paksuusjakaumasta 56 % jakeisiin 2–6

mm. Hakkeen erikoisluonteesta johtuen ns. äärijakeitten yli 32 ja alle 6 mm:n jakeitten osuus muodostui korkeaksi ollen lehti- ja havupuuhakkeella keskimäärin 14,1 ja 19,7 %. Hienojakeen osuus lisääntyi merkittävästi hakkurin terien tylsymisen tai talvella pakkasen kiristymisen myötä.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ARO, P. 1962. Koivuhalkojen, koivupaperipuiden, polttohakerankojen ja ohutpaperipuiden pino- ja kiintokuutiosuhteet. Pienpuualan toimikunnan tiedotus 66:1-6.
- AROLA, R. 1973. Compression debarked chips from a whole-tree chipper. USDA Forest Service. Res. Note NC-147:1-4.
- & ERICKSON, J. 1973. Compression debarking of wood chips. USDA Forest Service. Res. Paper NC-85:1-11.
- GISLERUD, O. 1974 a. 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 thinning of spruce, pine, birch and alder. Norsk Institut for Skogforskning. Skogteknologisk avdelning. Rapport 6:1-59.
- 1974 b. Heltreutnyttelse. IV. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjørk og or. Summary: Biomass and biomass properties of trees from thinnings of spruce, pine, birch and alder. Norsk Institut for Skogforskning. Skogteknologisk avdelning. Rapport 6:1-46.
- ERVASTI, S. & SALO, E. 1967. Kiinteistöillä lämmön kehittämiseen käytetyt polttoaineet vuonna 1965. Summary: Fuels used by real estates for the generation of heat in 1965. Folia For. 33:1-17.
- ESKILSSON, S. 1972. Whole tree pulping. Part 1. Fibre properties. Svensk PappTidn. 75:397-402.
- 1973. Whole tree pulping. Part 2. Sulphate cooking. Svensk PappTidn. 76:63-70.
- 1974. Whole tree pulping. Part 3. Pulp properties. Svensk PappTidn. 77:165-174.
- HAKKILA, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Commun. Inst. For. Fenn. 54(4):1-82.
- 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Tiivistelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5):1-98.
- 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder. Tiivistelmä: Harmaaleppäpuuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. Commun. Inst. For. Fenn. 71(5):1-33.
- 1971. Coniferous branches as a raw material source. Summary: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Commun. Inst. For. Fenn. 75(1):1-60.
- 1976. Kokopuuhakkeen lajittelu. Matkakertomus. SITRAn moniste: 1-39.
- & MÄKELÄ, M. 1975. Pallarin vesakkoharvesteri. Summary: Pallari busharvester. Folia For. 249:1-18.
- KALAJA, H. & MÄKELÄ, M. 1975. Kokopuun käyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. Folia For. 240:1-78.
- KALAJA, H. SALAKARI, M. & VALONEN, P. 1977. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. Seloste: Kokopuuna korjuu männikön ensiharvennuksessa. Folia For. 333:1-58.
- LEIKOLA, M. & SALAKARI, M. 1978. Pienpuuston kasvatusta, talteenottoa ja käyttöä. Lyhytkiertopuun kasvatusta- ja käyttöprojektin loppuraportti. SITRA, sarja B 46:1-159.
- KALAJA, H. 1976 a. Trelan-hakkuri. Metsä ja Puu 5:33-35.
- 1976 b. TT-palstahakkuri 1000 F. Metsä ja Puu 10:33-35.
- 1978. Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakkurilla. Summary: Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F. Folia For. 374:1-27.
- KEAYS, I. 1974. Full-tree and complete-tree utilization for pulp and paper. For. Prod. J. 24(11):13-16.
- LEPISTÖ, M. 1978. Suuria kuiva-ainesatoja valituilla pajuilla. Teho 9:27-29.
- LIIRI, O., KIVISTÖ, A. & LAINE, L. 1972. Vihreä hake lastulevyn raaka-aineena. Summary: Branches and whole trees as raw material for particle board. Paperi ja Puu 10:593-609.
- LÖNNBERG, B. 1976. Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper I-VVI. 110 s. Helsinki.
- MELKKO, M. 1977. Algol-monikäyttöhakkuri. Metsä ja Puu 1:20-31.
- MÄKELÄ, M. 1975. Kanto-, koko- ja oksapuun painotietoja. 3 s. Moniste.
- 1977. Seulontatuloksia Algol-monikäyttöhakkurin hakkeesta. Summary: Screening results on the chips made by Algol-multipurpose chipper. Silva Fenn. 11(2):97-109.
- PELTOLA, H. 1976. Kokopuuraaka-aineen autokuljetus. Summary: Truck transport of whole-tree raw material. Metsäteho tied. 340:1-16.
- Pieniläpimittaisen kokopuun ja pienpuurangan haku-palkat kokeilukäyttöön 29. 2. 1980 saakka. Metsäteollisuuden työnantajaliitto. Metsäosasto. Kiertokirje M 49/79.
- SAUKKONEN, M. 1971. Hakkeen näytteenotto- ja laatuanalyysimenetelmät. Keskuslaboratorion seloste 1045. Ei julkaistu.

- SIMOLA, P. 1976. TT-varastohakkuri 1500 L. Metsä ja Puu 9:26-27.
- 1977. Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. *Folia For.* 302:1-16.
- & MÄKELÄ, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. *Folia For.* 273:1-18.
- SIRO, M. 1966. Havupuukuoresta selluloosan raaka-aineena. Teknillinen Korkeakoulu, puunjalostus-osasto. Diplomityö 269:1-135.
- STARCK, P. & PALENIUS, I. 1970. Kuorineen ja neulasineen haketetun harvennuspuun käyttökelpoisuus sulfaattimassan valmistukseen. Oy Keskuslaboratorio. Seloste 1005. Ei julkaistu.
- TAIPALE, A. 1961. Polttohakkeen ja polttohakepuun mittauksesta. Pienpuualan toimikunnan tiedotus 54:1-4.
- UUSVAARA, O. 1971. Vaneritehtaan jätepuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista. Summary: On the properties of chips prepared from plywood plant waste. *Folia For.* 107:1-17.
- 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Summary: On the properties of sawmill chips. *Commun. Inst. For. Fenn.* 75(4):1-55.
- 1974. Teollisuudessa käytettävän sahanpurun ominaisuudet. Summary: Properties of sawdust utilized in industry. *Commun. Inst. For. Fenn.* 83(1):1-43.
- 1976. Kokopuuhakkeen laatu. *Metsä ja Puu* 12:22-24.
- WAWER, A. & MAHENDRA, N. 1977. Compression debarking whole tree chips. *Pulp Paper Mag. Can.* 78(11):93-99.

SUMMARY

The study is divided into three parts. The first part concerns the determination of the solid volume of whole-tree raw material on the basis of measurements carried out on standing trees and the second part on measurements made on piles. In the third part of the study, various properties of whole tree chips, which are important from the point of view of processing, as well as their measurement are examined. The study was carried out in connection with whole-tree chipping operations at the landing sites or in terrain run by forest industries.

Results of measurements made on standing trees:

Regression equations describing the volume and green weight of the wood, branches and stem were calculated for small-sized pine and spruce trees on the basis of the sample tree material collected separately from southern and northern Finland. Tree height and diameter at breast height were used as the independent variables. The average proportions of merchantable wood when making 2 m, 3 m or assorted-length cordwood and the distribution of biomass and wood proper between cordwood, stem waste-wood and branches was calculated for each diameter class.

Results of measurements made on piles:

In the pile measurements, the volume of whole-tree piles are obtained by measuring the length, width and height. Solid volume is obtained by multiplying the piled volume by the solid volume content which was 0,281 for pine, 0,234 for birch and 0,144 for over-year-old alder. The results for pine can be adjusted using the regression equation $y = 0,157 + 0,020x_1 (\pm 0,009) + 0,008x_2 (\pm 0,004)$ where x_1 is the frontal height of the pile and x_2 the stump diameter. Further material will have to be collected before reliable figures can be obtained for alder.

The accuracy of the pile measurements was checked by expressing the deviation of the pile density for each pile as a percentage of the mean. It was 17,8 % for pine, 13,2 % for birch and 18,1 % for alder.

It was pointed out in the discussion of the results that the figures for solid volume content of the pile have been calculated in such a way that the part of the total amount of raw material which is lost during the chipping operation has been omitted from the solid measurement.

Results of measurements made on the chips:

Settling of the load of whole-tree chips during transport was, on the average, 5,3 % during the summer and 3,2 % during the winter. Settling was lower in the truck (2,8 %) than in the trailer (5,2 %).

The moisture content of the chips decreased and the dry-matter content correspondingly increased when the stems were stored either in piles or scattered about during the growing season before chipping. The moisture contents of hardwood and softwood chips were, on the average, 72 and 118 %, but the variation in moisture content within stands was large, especially in the case of material which had been stored in piles for two growing seasons or more.

The hardwood and softwood chips weighed 305 and 335 kg/m³ before transport, and 316 and 347 kg/m³ after. The green weight of a unit volume of chips varied very much, however, and depended on the stand, storage time before the chipping and on the chipping conditions. The standard deviation of the green weight before transport was 32 kg/m³, i.e. about 10 % of the mean for both types of chips.

The dry weights of hardwood and softwood chips were 175 and 155 kg/m³ at the chipping site and 182 and 162 kg/m³ on arrival. The dry weights for individual tree species before transport were: 152 kg/m³ for pine chips, 177 kg/m³ for birch chips and 169 kg/m³ for alder chips. The solid volume percentages at departure were 40,3 for pine, 37,7 for birch and 45,7 for alder and 42,1, 38,9 and 48,4 correspondingly on arrival.

The amount of stemwood in the whole-tree chips, which is important for processing, was greatest in the 19–32 mm fractions, while the contents of needles, leaves and bark, which causes problems in processing, were rather large in fractions less than 13 mm. The experiments showed that the wood content of chips, which was on the average 77,4 % for hardwood and 74,7 % for softwood chips, can be increased by an average of 2,3 percent units if the fines, less than 6 mm, are screened out.

69 % of the whole-tree chips were within the length fractions 6–25 mm and 56 % in the thickness fraction 2–6 mm. Owing to the special nature of the chips, the proportion of outermost fractions, i.e. over 32 mm and below 6 mm, was high; 14,1 % for hardwood chips and 19,7 % for softwood chips. The proportion of fines significantly increased as the knives of the chipper became blunt or as the temperature dropped well below freezing point during winter.

Liite 1. Kuusikoepuiden määrä läpimitta- ja pituusluokittain.

D _{1,3} cm	Pituus, m																		Yhteensä
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Etelä-Suomi																			
2																			
3		10	3																
4		2	10	5														13	
5				10	13	1												17	
6				6	13	14	4											24	
7				5	9	23	18	7	1									37	
8					2	13	7	13	5	1								63	
9						1	12	13	15	6	3							41	
10						2	3	10	5	7	5	2	1					50	
11							1		3	8	5	6	1	1				35	
12								1	4	6	2	7	3	1	1			25	
13											3	2	2	3				10	
14										6	1	1		2	3			13	
15														1	1	1		3	
16													2				1	3	
17																			
18																			
		12	13	26	37	55	44	47	38	31	20	13	9	7	5	1	1	359	
Pohjois-Suomi																			
2																			
3		1																1	
4		7	4															11	
5		2	16	4														22	
6			14	19	1													34	
7			4	10	13	3												30	
8				4	16	6	1											27	
9				2	7	6												15	
10					3	8	1	1										13	
11						1		6	2									9	
12								2	1									3	
13								1	4	2								7	
14						1	1	1	1		1							4	
15									1	1								2	
16										1								1	
17																			
18											1							1	
		10	38	39	41	24	12	10	4	2								180	

Liite 2. Mäntykoepuiden määrä läpimitta- ja pituusluokittain.

D _{1,3} , cm	Pituus, m																	Yhteensä
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Etelä-Suomi																		
2	1	5	3														9	
3		7	6	7	10												30	
4		3	9	3	17	5	1										38	
5			6	15	31	22	2										77	
6			2	5	14	27	9	5	1								63	
7				4	9	15	15	6	1	2							52	
8					10	19	13	2	6	3							53	
9					4	8	4	2	3	4	2						27	
10					2	3	11	7	6	2	3						34	
11					1	1	2	4	1	1			1				11	
12						1	5	2	3		6	2					19	
13							3	1	7		2	1	2	4			20	
14								2	1		1	2	5		1		12	
15							1	1	4	2	1			4	2		15	
16									1	2	1	1	1	1	3		10	
17									1		1		2	2	1		7	
18									1				1	3	1	2	8	
19												1					1	
	1	15	26	34	98	101	66	33	36	16	17	7	12	12	9	3	486	
Pohjois-Suomi																		
2	2	5	6														13	
3		4	7	7													18	
4			4	9	7	1	1	1									23	
5				3	12	8	3										26	
6				2	2	11	5	1									21	
7					2	3	11	3	3								22	
8					1	3	9	7	1								21	
9						1	4	7	3	3	1						19	
10							7	5	6	3							21	
11					2		1	3	3	7	1						17	
12							1	2	5	3							11	
13								1	6	3	1	1					12	
14							1	1			3						5	
15									2	2	3	1					8	
16							1				1		1				3	
17											1	1					2	
18										1							1	
19												1		2			3	
20												1					1	
21												1					1	
22													1				1	
	2	9	17	21	26	27	44	31	29	22	11	6	2	2			249	

Liite 3. Laskennallisia muuntolukuja työmaittain kokopuupinojen kehystilavuuden pohjalta.

Kokopuupinojen laskennalliset muuntoluvut	Pinon numero									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Pori, mänty									
Kiintotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,284	,322	,268	,259	,318	,253	,278	,254	,241	,344
	,229	,376	,366	,254	,290	,352	,313	,344	,352	,288
	,260	,271	,399	,338	,349	,237	,316	,239		
Tuoretonnia, t/kehystilavuus, m ³	,199	,225	,188	,181	,223	,177	,194	,177	,169	,240
	,160	,263	,256	,177	,203	,246	,219	,240	,246	,159
	,182	,190	,279	,236	,244	,166	,221	,167		
Kuivatonna, t/kehystilavuus, m ³	,110	,124	,103	,100	,123	,097	,107	,098	,093	,132
	,088	,145	,141	,098	,112	,136	,121	,132	,135	,088
	,100	,104	,153	,130	,135	,091	,122	,092		
Irtotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,624	,706	,589	,568	,698	,554	,610	,557	,529	,754
– ennen kuljetusta	,502	,825	,803	,556	,637	,772	,687	,754	,771	,499
	,570	,595	,874	,741	,766	,519	,693	,524		
– kuljetuksen jälkeen	,588	,664	,554	,535	,657	,522	,574	,524	,501	,713
	,475	,781	,760	,526	,602	,730	,650	,713	,729	,472
	,539	,562	,826	,701	,725	,491	,655	,496		
	Imatra, mänty									
Kiintotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,263	,239	,247	,212	,230	,236	,240	,171	,210	
Tuoretonnia, t/kehystilavuus, m ³	,211	,192	,199	,170	,185	,189	,192	,137	,168	
Kuivatonna, t/kehystilavuus, m ³	,101	,092	,095	,081	,089	,091	,092	,066	,081	
Irtotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,664	,603	,624	,534	,580	,595	,605	,432	,529	
– ennen kuljetusta	,664	,603	,624	,534	,580	,595	,605	,432	,529	
– kuljetuksen jälkeen	,628	,570	,591	,505	,549	,563	,573	,408	,501	
	Juva, mänty									
Kiintotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,293	,305	,256	,274	,302	,279	,296	,260		
Tuoretonnia, t/kehystilavuus, m ³	,241	,250	,211	,225	,248	,229	,243	,213		
Kuivatonna, t/kehystilavuus, m ³	,113	,117	,099	,106	,116	,107	,114	,100		
Irtotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,658	,684	,592	,631	,694	,642	,681	,597		
– ennen kuljetusta	,658	,684	,592	,631	,694	,642	,681	,597		
– kuljetuksen jälkeen	,634	,658	,565	,602	,663	,613	,650	,570		
	Pori, koivu									
Kiintotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,244	,272	,267	,232	,234	,175	,189	,252	,235	,238
Tuoretonnia, t/kehystilavuus, m ³	,200	,222	,219	,190	,197	,148	,159	,213	,196	,197
Kuivatonna, t/kehystilavuus, m ³	,112	,125	,123	,107	,108	,081	,087	,116	,108	,109
Irtotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,616	,685	,674	,586	,608	,455	,490	,656	,603	,608
– ennen kuljetusta	,616	,685	,674	,586	,608	,455	,490	,656	,603	,608
– kuljetuksen jälkeen	,598	,665	,655	,569	,583	,436	,470	,629	,582	,587
	Parikkala, ylivuotinen leppä									
Kiintotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,156	,145	,156	,186	,124	,123	,121	,165	,173	,103
Tuoretonnia, t/kehystilavuus, m ³	,097	,090	,097	,116	,077	,076	,075	,103	,107	,064
Kuivatonna, t/kehystilavuus, m ³	,058	,054	,058	,069	,046	,045	,045	,061	,064	,038
Irtotilavuus, m ³ /kehystilavuus, m ³	,321	,299	,320	,384	,254	,253	,248	,340	,355	,212
– ennen kuljetusta	,321	,299	,320	,384	,254	,253	,248	,340	,355	,212
– kuljetuksen jälkeen	,310	,288	,309	,370	,245	,244	,239	,328	,343	,204

Liite 4. Laskennallisia muuntolukuja työmaittain laskettuna kokopuupinoista saadun hakkeen lähtömitan pohjalta.

Kokopuupinon laskennalliset muuntoluvut	Pinon numero									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Pori, mänty									
Kehystilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	1,602	1,417	1,698	1,759	1,433	1,804	1,640	1,796	1,889	1,326
	1,992	1,212	1,245	1,798	1,571	1,296	1,456	1,327	1,297	2,006
	1,755	1,682	1,145	1,350	1,305	1,926	1,444	1,908		
Kiintotilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456
	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456
	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456	,456		
Tuoretonnia, t/irtotilavuus, m ³	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319
	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319
	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319	,319		
Kuivatonna, t/irtotilavuus, m	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176
	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176
	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176	,176		
	Imatra, mänty									
Kehystilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	1,507	1,659	1,602	1,872	1,723	1,680	1,652	2,316	1,889	
Kiintotilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	,396	,396	,396	,396	,396	,396	,396	,396	,396	
Tuoretonnia, t/irtotilavuus, m ³	,318	,318	,318	,318	,318	,318	,318	,318	,318	
Kuivatonna, t/irtotilavuus, m ³	,153	,153	,153	,153	,153	,153	,153	,153	,153	
	Juva, mänty									
Kehystilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	1,518	1,463	1,689	1,585	1,440	1,558	1,468	1,675		
Kiintotilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	,446	,446	,435	,435	,435	,435	,435	,435		
Tuoretonnia, t/irtotilavuus, m ³	,366	,366	,357	,357	,357	,357	,357	,357		
Kuivatonna, t/irtotilavuus, m ³	,172	,172	,167	,167	,167	,167	,167	,167		
	Pori, koivu									
Kehystilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	1,623	1,459	1,483	1,706	1,645	2,197	2,038	1,524	1,660	1,645
Kiintotilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	,397	,397	,396	,397	,385	,385	,385	,385	,391	,391
Tuoretonnia, t/irtotilavuus, m ³	,324	,324	,324	,324	,325	,325	,325	,325	,324	,324
Kuivatonna, t/irtotilavuus, m ³	,183	,183	,182	,182	,177	,177	,177	,177	,180	,180
	Parikkala, ylivuotinen leppä									
Kehystilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	3,110	3,348	3,122	2,607	3,934	3,951	4,031	2,938	2,816	4,724
Kiintotilavuus, m ³ /irtotilavuus, m ³	,486	,486	,486	,486	,486	,485	,486	,485	,486	,485
Tuoretonnia, t/irtotilavuus, m ³	,302	,302	,302	,302	,302	,302	,302	,302	,302	,302
Kuivatonna, t/irtotilavuus, m ³	,180	,180	,180	,180	,180	,180	,180	,180	,180	,180

ODC 331:527:861.0
ISBN 951-40-0407-8
ISSN 0015-5543

KANNINEN, K., UUSVAARA, O. & VALONEN, P. 1979. Kokopuuraaka-
aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-
tree raw material. *Folia For.* 403:1-53.

The first two parts of the study concern the development of volume tables for
small-sized whole trees and the measurement of whole-tree raw material piles.
The wood properties and measuring techniques for chips prepared from unde-
limbed small-sized trees is examined in the third part.

The calculation of the solid volume of small-sized trees on the basis of measure-
ments carried out on piles and on standing trees, and factors affecting chip mea-
surement and chip quality are presented in the study.

Author's addresses: K a n n i n e n & U u s v a a r a : The Finnish Forest
Research Institute, Unioninkatu 40 A SF-00170 Helsinki 17. V a l o n e n :
Valmet Oy, Tampere Works, PL 387, SF-33101 Tampere 10.

ODC 331:527:861.0
ISBN 951-40-0407-8
ISSN 0015-5543

KANNINEN, K., UUSVAARA, O. & VALONEN, P. 1979. Kokopuuraaka-
aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-
tree raw material. *Folia For.* 403:1-53.

The first two parts of the study concern the development of volume tables for
small-sized whole trees and the measurement of whole-tree raw material piles.
The wood properties and measuring techniques for chips prepared from unde-
limbed small-sized trees is examined in the third part.

The calculation of the solid volume of small-sized trees on the basis of measure-
ments carried out on piles and on standing trees, and factors affecting chip mea-
surement and chip quality are presented in the study.

Author's addresses: K a n n i n e n & U u s v a a r a : The Finnish Forest
Research Institute, Unioninkatu 40 A SF-00170 Helsinki 17. V a l o n e n :
Valmet Oy, Tampere Works, PL 387, SF-33101 Tampere 10.

ODC 331:527:861.0
ISBN 951-40-0407-8
ISSN 0015-5543

KANNINEN, K., UUSVAARA, O. & VALONEN, P. 1979. Kokopuuraaka-
aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-
tree raw material. *Folia For.* 403:1-53.

The first two parts of the study concern the development of volume tables for
small-sized whole trees and the measurement of whole-tree raw material piles.
The wood properties and measuring techniques for chips prepared from unde-
limbed small-sized trees is examined in the third part.

The calculation of the solid volume of small-sized trees on the basis of measure-
ments carried out on piles and on standing trees, and factors affecting chip mea-
surement and chip quality are presented in the study.

Author's addresses: K a n n i n e n & U u s v a a r a : The Finnish Forest
Research Institute, Unioninkatu 40 A SF-00170 Helsinki 17. V a l o n e n :
Valmet Oy, Tampere Works, PL 387, SF-33101 Tampere 10.

ODC 331:527:861.0
ISBN 951-40-0407-8
ISSN 0015-5543

KANNINEN, K., UUSVAARA, O. & VALONEN, P. 1979. Kokopuuraaka-
aineen mittaus ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-
tree raw material. *Folia For.* 403:1-53.

The first two parts of the study concern the development of volume tables for
small-sized whole trees and the measurement of whole-tree raw material piles.
The wood properties and measuring techniques for chips prepared from unde-
limbed small-sized trees is examined in the third part.

The calculation of the solid volume of small-sized trees on the basis of measure-
ments carried out on piles and on standing trees, and factors affecting chip mea-
surement and chip quality are presented in the study.

Author's addresses: K a n n i n e n & U u s v a a r a : The Finnish Forest
Research Institute, Unioninkatu 40 A SF-00170 Helsinki 17. V a l o n e n :
Valmet Oy, Tampere Works, PL 387, SF-33101 Tampere 10.

- No 361 Kyttälä, Timo: Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa.
Aspects of work organizing in logging.
- No 362 Kukkola, Mikko: Lannoituksen vaikutus eri latvuserosten puiden kasvuun mustikkatyyppin kuusikossa.
Effect of fertilization on the growth of different tree classes in a spruce stand on *Myrtillus*-site.
- No 363 Mielikäinen, Kari: Puun kasvun ennustettavuus.
Predictability of tree growth.
- No 364 Koski, Veikko & Tallqvist, Raili: Tuloksia monivuotisista kukinnan ja simensadon määrän mittaustuksista metsäpuilla.
Results of long-time measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees.
- No 365 Tervo, Mikko: Metsänomistajaryhmittäiset hakkuut ja niiden suhdanneherkkyys Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1955—1975.
The cut of roundwood and its business cycles in Southern and Northern Finland by forest ownership groups, 1955—1975.
- No 366 Ryytänen, Leena: Kotimaisten lehtipuiden siitepölyn laadunmäärittämisestä.
Determination of quality of pollen from Finnish deciduous tree species.
- No 367 Uusitalo, Matti: Suomen metsätalous MERA-ohjelmakaudella 1965—75. Tilastoihin perustuva tarkastelu.
Finnish forestry during the MERA Programme period 1965—75. A review based on statistics.
- No 368 Kärkkäinen, Matti: Käytännön tuloksia koivuviilun saannosta.
Empirical results on birch veneer yield.
- No 369 Laitinen, Jorma: Raivaussahojen kantokäsittelylaitteiden vertailu filmianalysillä.
Comparing clearing saw sprayers with film analysis.
- No 370 Kärkkäinen, Matti: Pienten kuusitukkien mittaus.
Measurement of small spruce logs.
- No 371 Jalkanen, Risto: Maanpinnan rikkomisen vaikutus korvasienen satoisuuteen.
Effect of breaking soil surface on the yield of *Gyromitra esculenta*.
- No 372 Laitinen, Jorma: Kuormatraktorin tekninen käyttöaste.
Mechanical availability of forwarders.
- No 373 Petäistö, Raija-Liisa: *Phelibia gigantea* ja *Heterobasidion annosum* männyn kannoissa hakkuualoilla Suomenniemen ja Savitaipaleen kunnissa.
Phelibia gigantea and *Heterobasidion annosum* in pine stumps on cutting areas in Suomenniemi and Savitaipale.
- No 374 Kalaja, Hannu: Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakurilla.
Harvesting small-sized trees with terrain chipper TT 1000 F.
- 1979 No 375 Metsätalastollinen vuosikirja 1977—1978.
Yearbook of Forest Statistics 1977—1978.
- No 376 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1976—78.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1976—78.
- No 377 Kärkkäinen, Matti: Koivutukkien tarkistusmittauksia.
Control measurements of birch logs.
- No 378 Mäkelä, Markku: Tilasto- ja aikatutkimustuotosten vertailua ainespuun korjuussa.
Output in harvesting of industrial wood based on statistical data or time studies.
- No 379 Velling, Pirkko: Erilaisten rauduskoivuprovenienssien alkukehityksestä taimitarhalla ja kentäkokeissa.
Initial development of different *Betula pendula* Roth provenances in the seedling nursery and in field trials.
- No 380 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Suomen metsävarat lääneittäin 1971—1976.
Forest resources in Finland 1971—1976 by counties.
- No 381 Hyppönen, Mikko & Norokorpi, Yrjö: Lahoisuuden vaikutus puutavaran saantoon ja arvoon Peräpohjolan vanhoissa kuusikoissa.
The effect of decay on timber yield and value of the old Norway spruce stands in northern Finland.
- No 382 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä turvemaalla.
Effect of spreading method on forest fertilization results on peatlands.
- No 383 Sirén, Matti, Vuorinen, Heikki & Sauvala, Kari: Pientraktorien heilunta.
Low-frequency vibration in small tractors.
- No 384 Löytyniemi, Kari & Rousi, Matti: Lehtipuutaimistojen hyönteistuhoista.
On insect damage in young deciduous stands.
- No 385 Hytönen-Kemiläinen, Riitta: Suomen sahatavaramarkkinat Länsi-Euroopassa vuosina 1950—1975 ja alueen sahatavaran kulutuksen ennustaminen.
Finland's West-European sawnwood markets 1950—1975, with an econometric model for forecasting the area's sawnwood consumption.
- No 386 Parviainen, Jari: Istuttamalla perustetun männikön, kuusikon, siperialaisen lehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys.
Early development of Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations.

- No 387 Teivainen, Terttu: Metsäpuiden taimien myyrätuhot metsänuudistusaluilla ja metsite-
tyillä pelloilla Suomessa vuosina 1973—76
Vole damage to forest tree seedlings in reforested areas and fields in Finland in the
years 1973—76.
- No 388 Teivainen, Terttu, Jukola, Eeva-Liisa, Kaikusalo, Asko & Korhonen, Kyllikki: Vesi-
myyrän, *Arvicola terrestris* (L.), aiheuttamat metsäpuiden taimien juuristotuhot vv.
1973—76 Suomessa.
Root damage of forest tree seedlings caused by water vole, *Arvicola terrestris* (L.),
in the years 1973—76 in Finland.
- No 389 Kolari, Kimmo K.: Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö
Suomessa. Kirjallisuuskatsaus.
Micro-nutrient deficiency on forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.
- No 390 Kaunisto, Seppo & Metsänen, Rauni: Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoit-
tamisen vaikutus männyn taimien juuriston kehitykseen tupasvillanevalla.
Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots
pine on deep peat.
- No 391 Valtonen, Kari: Loppukäyttötiedot saha- ja puulevyteollisuuden markkinoinnissa.
End-use information for marketing in sawmill and wood-based panel industries.
- No 392 Isomäki, Antti: Kuusialikasvoksen vaikutus männikön kasvuun, tuotokseen ja tuottoon.
The effect of spruce undergrowth on the increment, yield and returns of a pine stand.
- No 393 Kurkela, Timo: *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* -sienen esiintyminen männyn-
karisteen yhteydessä.
Association of *Lophodermium seditiosum* Minter *et al.* with a needle cast epidemic
on Scots pine.
- No 394 Rikala, Risto: Lannoitteiden levitystavan vaikutus koulittujen männyn ja kuusen
taimien kehittymiseen taimitarhalla.
The effect of fertilizer spreading methods on the development of pine and spruce
transplants in the nursery.
- No 395 Löyttyniemi, Kari, Austarå, Øystein, Bejer, Broder & Ehnström, Bengt: Insect pests
in forests of the Nordic Countries 1972—1976.
Tuhohyönteisten esiintyminen Pohjoismaiden metsissä 1972—1976.
- No 396 Silfverberg, Klaus: Männyn kasvuhäiriön ajoittuminen ja alkukehitys turvemaan boo-
rinpuutosalueella.
Phenology and initial development of a growth disorder in Scots pine on boron
deficient peatland.
- No 397 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1976
(1964—1973).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1976 (1964—1973)
by districts.
- No 398 Lehto, Jaakko: Metsäalan koulutus metsäalan organisaatioiden arvioimana.
Forest education evaluated by forestry organizations.
- No 399 Jokinen, Katriina & Tamminen, Pekka: Tyvilahoisten kuusikoiden jälkeen istutetuissa
männyn taimistoissa esiintyvät sienituhot Keski-Satakunnassa.
Fungal damage in young Scots pine stands replacing butt rot-infected Norway spruce
stands in SW Finland.
- No 400 Metsänlannoitustutkimuksen tuloksia ja tehtäviä. Metsäntutkimuslaitoksen metsänlan-
noitustutkimuksen seminaari 15. 2. 1979.
Results and tasks in forest fertilization research. Proceedings of the Finnish Forest
Research Institute symposium on forest fertilization research 15. 2. 1979.
- No 401 Mielikäinen, Kari: Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon.
The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand.
- No 402 Sepponen, Pentti, Lähde, Erkki & Roiko-Jokela, Pentti: Metsäkasvillisuuden ja maan
fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa.
On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in
Finnish Lapland.
- No 403 Kanninen, Kaija, Uusvaara, Olli & Valonen, Paavo: Kokopuuraaka-aineen mittaus ja
ominaisuudet.
Measuring and properties of whole tree raw-material.
- No 404 Kaunisto, Seppo: Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsi-
tyksestä.
Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas.