

08.08.89



# FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE  
HELSINKI 1989

725

Erkki Verkasalo

KOESEULONTAMENETELMÄT METSÄHAKKEEN  
LAADUN ARVIOINNISSA

Test screening methods for evaluation of forest chip quality

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
HELSINKI

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

Telex: 121286 metla sf  
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetointia varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

# FOLIA FORESTALIA 725

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1989

Erkki Verkasalo

## KOESEULONTAMENETELMÄT METSÄHAKKEEN LAADUN ARVIOINNISSA

Test screening methods for evaluation of forest chip quality

*Approved on 27.1.1989*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
11. Yleistä .....	3
12. Metsäteollisuusprosessien hakkeelle asettamista laaturajoista .....	3
13. Metsähakkeen laadun mittaamisesta ja käytännön laatuvaatimuksista .....	5
14. Tutkimuksen tavoitteet .....	8
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO .....	9
3. TULOKSET LABORATORIOSEULONTAKOKEISTA .....	11
31. Williams-reikäseulonnan ja STFI-seulonnan tulosten vertailu .....	11
32. Palakokojakaumatulosten luotettavuus .....	14
321. Williams-reikäseulonta .....	14
322. STFI-seulonta .....	17
33. Hakkeen biomassan koostumus eri seulontajakeissa .....	19
331. Williams-reikäseulonta .....	19
332. STFI-seulonta .....	21
4. TULOKSET KÄYTÄNNÖN TEHDASSEULONTAKOKEISTA .....	22
41. Tehdasseulonnan vaikutus kokopuuhakkeen palakokojakaumaan .....	22
42. Tehdasseulonnan vaikutus kokopuuhakkeen biomassan koostumukseen .....	23
43. Kokopuuhakkeen tehdasseulontasaanto .....	24
5. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ .....	26
KIRJALLISUUS – REFERENCES .....	27
SUMMARY .....	28

VERKASALO, E. 1989. Koeseulontamenetelmät metsähakkeen laadun arvioinnissa. Summary: Test screening methods for evaluation of forest chip quality. *Folia Forestalia* 725. 28 p.

Tutkimus käsittää metsähakkeen laboratorio- ja tehdasseulontakokeita. Laboratoriokokeissa vertailtiin Williams-reikäseulonnalla ja STFI-seulonnalla saatavia palakokojakaumatuloksia, esitettiin lineaarisiin regressiomalleihin perustuvia menetelmiä hyväksytyjen jakeiden osuuksien muuntamiseksi toisiaan vastaaviksi, tutkittiin seulontatulosten luotettavuutta sekä seulonnan vaikutusta hakkeen biomassan koostumukseen. Tehdasseulontakokeissa tutkittiin seulonnan vaikutusta kokopuuhakkeen palakokojakaumaan ja biomassan koostumukseen sekä tehdasseulontasaantoa ja koeseulonnan siitä antaman kuvan oikeellisuutta.

The study includes laboratory and mill screening experiments on forest chips. The first part of the report compares particle size distribution after screening by the Williams hole screening and STFI screening methods. Linear regression models were then generated to change the results concerning the distribution of accepted fractions so as to make the methods better correspond with each other. The reliability of the screening results and the effect of screening on the biomass composition of chips were investigated. The second part of the report concerns the effect of mill screening on particle size distribution and biomass composition of whole-tree chips. Mill screening was also used to determine the yield of sulphate pulp chips as well as the validity of the test screenings.

Keywords: chips, screens, analysis, classification, grading, laboratory experiments, pulping, whole-tree utilization  
ODC 861.0+812

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Technology, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1037-X  
ISSN 0015-5543

Valtion painatuskeskus, Helsinki 1989

# 1. JOHDANTO

## 11. Yleistä

Metsähakkeella tarkoitetaan ennen kauko-kuljetusvaihetta pölkkyistä, rangoista, kokopuusta tai hakkuutähteistä tehtyä haketta (Suositus... 1976). Sen laatua metsäteollisuuden raaka-aineena on totuttu tarkastelemaan sulfaattisellun valmistuksen kannalta, koska muu massateollisuus (sulfiittisellu- ja hierreteollisuus) ei pysty käyttämään sitä. Metsähaketta voidaan käyttää myös lastu- ja kuitulevyn sekä neutraalisulfiittimassan valmistukseen. Näiden käyttömuotojen merkitys on Suomessa supistunut satunnaiseksi 1970-luvun alkuinnostuksen jälkeen. Kaiken kaikkiaan metsähakkeen käyttö on pysynyt valtakunnallisesti ottaen vaatimattomana eikä se ole juurikaan laajentunut 1970-luvun loppupuolen jälkeen. Vuonna 1988 metsähaketta käytettiin Metsätehon arvion mukaan kaikkiaan noin 170 000 m<sup>3</sup> viidellä sulfaattisellutehtaalla (Kuitto suull.).

Perinteiseen kuitupuuhun verrattuna metsähakkeella on useita erikoispiirteitä, jotka Suomessa tulevat pienen puun koon vuoksi vielä selvemmin esille kuin muissa metsähakkeen käyttäjämaissa (mm. USA, Kanada, Ruotsi, eräät Keski-Euroopan maat) (Hakkila 1976). Tärkein näistä on biomassan poikkeuksellinen ja epäsäännöllisesti vaihteleva koostumus.

Puuaineen ohella metsähakkeessa on runsaasti kuorta sekä raaka-aineena käytetystä puu- ja puutavaralajista, vuodenajasta, varastoinnista ym. tekijöistä riippuen lisäksi viherainetta, oksanpätkiä, silmuja ja jopa käpyjä (Hakkila 1971, Gislerud 1974, Hakkila ym. 1975, Kanninen ym. 1979, Uusvaara ja Verkasalo 1987). Korjuu- ja varastointivaiheessa siihen pyrkii sekoittumaan myös hiekkaa ja muita epäpuhtauksia (Hakkila 1976). Metsähake sisältää yleensä runsaasti nuorpuuta, jolle on tyypillistä alhainen puuaineen tiheys, lyhyehköt kuidut, ohuet solunseinämät, pieni sydänpuuosuus jne. (Hakkila 1976).

Sulfaattisellun valmistuksessa puun rakenteellisiin ominaisuuksiin liittyvät ongelmat ovat hallittavissa. Biomassan vaihtelevan koostumuksen ja epäpuhtauksien aiheuttamat ongelmat ovat paljon vaikeampia. Niinpä metsähaketta on voitu käyttää vain 6-10

% seossuhteella tavallisen kuitupuuhakkeen joukossa, vaikka hake on seulottu mahdollisimman tarkasti (kahdessa tai kolmessa vaiheessa) ennen keittimeen syöttöä. Vaikeudet ovat paljolti johtuneet siitä, että laitteistot on alunperin suunniteltu yksinomaan kuitupuun ja sahanhakkeen käyttöä ajatellen, jolloin metsähakkeen syöttö on aiheuttanut hankaluuksia koko prosessille.

## 12. Metsäteollisuusprosessien hakkeelle asettamista laaturajoista

Taulukossa 1 on esitetty, millaisia vaatimuksia eri kuidutusmenetelmillä on hakkeen ominaisuuksien suhteen. Usein hakkeen laadusta puhuttaessa tarkoitetaan pelkästään palakoon pituus- tai paksuusjakaumaa, mutta huomiota on kiinnitettävä myös kuori- ja neulaspitoisuuksiin sekä epäorgaanisten epäpuhtauksien määrään. Myös hakepalojen mekaanisella vaurioituneisuudella on merkitystä, mutta sen määrittäminen on käytännössä ongelmallista.

*Sulfaattikeitossa* kemikaalit imeytyvät hakepaloihin suunnilleen samalla nopeudella kaikissa suunnissa, jolloin hakkeen paksuus on sen tärkein mittakriteeri (Hartler ja Stade 1979, Christie 1987). Hakepalan optimaalipaksuutena pidetään 2–5 mm:ä (Wahlman 1967) tai tarkemmin ilmaistuna 3 mm:ä (Laanti 1961, Borlew ja Miller 1970, Lönnberg 1986). On jopa esitetty, että hakepalan paksuuden ollessa 1/8 ” eli noin 3 mm ei muilla mitoilla ole prosessin kannalta merkitystä eikä pituuden lisääminen paranna massan lujuutta kuten tätä paksummilla lastuilla (Borlew ja Miller 1970). Hakkeen paksuuden kasvaessa yli 5 mm:iin lisääntyy rejektin määrä voimakkaasti keitettäessä pohjoismaista mäntyä (Hartler 1962). Lisäksi kuidut lyhenevät, minkä arvellaan johtuvan lyhytkuituisen oksapuun taipumuksesta hakettua paksummiksi hakepaloina kuin pitkäkuituisen runkopuun. Kuitujen lyhenemisestä seuraa puolestaan massan veto- ja repäisylujuuden heikkeneminen (Virkola ja Janhonen 1984). Hakkeen paksuuden kriittinen alaraja

Taulukko 1. Hakkeen ominaisuuksien merkitys eri keittomenetelmissä (Hartler ja Stade 1979).  
 Table 1. The significance of chip properties for various cooking processes (Hartler and Stade 1979).

Hakkeen ominaisuus <i>Chip property</i>	Keittomenetelmä—Cooking process			
	Sulfaatti <i>Sulphate</i>	Sulfiitti <i>Sulphite</i>	NSSC	Hierro <i>Refiner-Mechanical</i>
Pituus— <i>Length</i>	Ei liian kriittinen <i>Not too critical</i>	Kriittinen <i>Critical</i>	Ei tiedetä <i>Not known</i>	Ei tiedetä <i>Not known</i>
Suositus <i>Recommendation</i>	15-25 mm	25-35 mm		
Leveys— <i>Width</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei tiedetä <i>Not known</i>
Paksuus <i>Thickness</i>	Hyvin kriittinen <i>Very critical</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei tiedetä <i>Not known</i>	Ei tiedetä <i>Not known</i>
Suositus <i>Recommendation</i>	1,5–4 mm (halkeilematon puu <i>uncracked wood</i> )	—		
Haketiheys <i>Bulk density</i>	Aina kriittinen <i>Always critical</i>	Aina kriittinen <i>Always critical</i>	Aina kriittinen <i>Always critical</i>	Aina kriittinen <i>Always critical</i>
Kuoripitoisuus <i>Bark content</i>	Tuotantotaloudellisesti kriittinen <i>Critical in terms of production economy</i>	Hyvin kriittinen— <i>Very critical</i>	Tuotantotaloudellisesti kriittinen <i>Critical in terms of production economy</i>	Kriittinen <i>Critical</i>
Suositus <i>Recommendation</i>	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Epäorgaaniset epäpuhtaudet (hiekkä, metalli) <i>Inorganic impurities (sand, metal)</i>	Kriittinen korkeasaantomassoilla <i>Critical for high-yield pulps</i>	Kriittinen liukoselluilla <i>Critical for dissolving pulps</i>	Hyvin kriittinen <i>Very critical</i>	Hyvin kriittinen <i>Very critical</i>
Hakevaurio <i>Chip damage</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Hyvin kriittinen— <i>Very critical</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei tunnettu <i>Not known</i>
Kosteus <i>Moisture content</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Ei kriittinen <i>Not critical</i>	Hyvin kriittinen <i>Very critical</i>

on männyllä todettu 1,5 mm:ksi (Hartler 1962). Käytännössä liian paksun hakkeen keitossa syntyy huomattavasti suurempia ongelmia kuin liian ohuen hakkeen keitossa (Hartler ja Stade 1979).

Mm. Colombo ym. (1964) puhuvat hakkeen tehollisesta paksuudesta, joka kuvaa nimellispaksuutta paremmin kemikaalien lyhintä imeytymisreittiä hakepalan keskiosaan. Tehollinen paksuus on aina huomattavasti pienempi kuin nimellispaksuus hakepalojen lamellimaisuuden ja halkeamien vuoksi. Keysin ja Hattonin (1971) valkokuusta koskeneessa tutkimuksessa tehollinen paksuus oli yleensä alle 5 mm niissäkin tapauksissa,

joissa nimellispaksuus hakepalan keskellä oli yli 12 mm.

Hakkeen pituudella on sulfaattikeitossa vain vähäinen merkitys. Hakepalojen äärimäinen lyheneminen kuitenkin lyhentää kuituja, jolloin massan saanto ja lujusominaisuudet heikkenevät sekä keittonesteiden kierto vaikeutuu (Saukkonen 1972, Klaavu 1985). Ainakin männystä syntyy tällöin jossain määrin lehtipuusta tehtyä muistuttavaa massaa, josta voidaan tehdä normaalia paremmat huokoisuus- ja opasiteettiarvot omaavaa paperia (Hartler ja Stade 1979). Metsähakkeella lyhyet jakeet sisältävät puuainetta selvästi vähemmän ja varsinkin kuor-

ta mutta myös viherainetta selvästi enemmän kuin muut jakeet (Kanninen ym. 1979). Havupuiden neulaset ja koivun kuori aiheuttavat vakavia käyttöhäiriöitä jatkuvatoimisissa keittimissä (Hakkila 1976).

Hakevaurioista ei sulfaattikeitossa ole juuri haittaa, joskin vauriokohta on muuta haketta alttiimpi keittokemikaalien vaikutukselle ja vaurioituneesta hakkeesta tehdyn selun lujuusominaisuudet ovat 0–3 % normaalista hakkeesta tehtyä heikkommat (Pelenius 1970). Itse asiassa eräissä kokeissa on hakerakenteen murskaamisella pystytty jopa parantamaan sulfaattikeiton tulosta (Lachenal ja de Choudens 1986). Hakepalat on murskattu rullapuristimella, minkä seurauksena aineen- ja lämmönsiirto-ominaisuudet niiden sisällä ovat parantuneet. Tämä puolestaan on johtanut tasaisempaan ja nopeampaan keittymiseen ja sitä tietä kapasiteetin kasvuun ja pienempään keittokemikaalien kulutukseen sekä pienempään rejektiosuuteen.

*Sulfittiikeitossa* tärkein hakkeen palakokoa kuvaava tekijä on syiden suuntainen pituus, koska kemikaalit imeytyvät tässä keittomenetelmässä juuri tässä suunnassa (Virkola ja Janhonen 1984). Lisäksi hakevauriot, jotka sulfittiikeiton happamuusalueella (pH < 4) aiheuttavat vakavaa hakkeen pilaantumista ja kuitujen katkeilemista, ovat pitkissä hakepaloissa epätodennäköisempiä kuin lyhyissä hakepaloissa (Hartler ja Stade 1979). Hakkeen paksuuden merkitys on vähäinen, mutta se kuitenkin kasvaa hakkeen pidentyessä. Hakevauriot heikentävät massan lujutta huomattavasti. Kuoripitoisuus on erittäin kriittinen tekijä. Jo 1 %:n kuoripitoisuus vaikeuttaa prosessia huomattavasti (Virkola ja Janhonen 1984).

*Mekaanisten massojen* raaka-aineen laatuvaatimukset ovat tiukemmat kuin kemiallisten massojen raaka-aineen, sillä puuaineen ominaisuudet peilautuvat suoraan massan ominaisuuksiin (Virkola ym. 1985). Hierrehakkeen optimipituus on 13–19 mm ja optimipaksuus 3,5–6 mm (Virkola ja Janhonen 1984). Yleinen käsitys on tosin nykyisin, että hierrehakkeen tulisi olla sulfaattiselluhaketta ohuempaa (vrt. s. 3) (Varhimo suull.). Tärkein laatuvaatimus on kuitenkin raaka-aineen tuoreus, sillä kuivunutta puuta hiottaessa tai hierrettäessä syntyy runsaasti tikkumaista ainesta, joka alentaa massan saantoa ja heikentää lujuusominaisuuksia (Virkola ym. 1985). Sekä homogeeninen pa-

lakoko että tuoreus ovat edellytyksenä tasaiselle hakevirralle hierrejuuhimiin, mikä itse asiassa on tärkein hierteen laatuun vaikuttava tekijä (Hartler ja Stade 1979). Kuuma-hierteen valmistuksessa normaalia oheuppi hake mahdollistaa tehokkaan lämmön siirtymisen hakepalojen keskiosaan ja näin ollen hyvän kuidutustuloksen (Corson 1973).

*Lastu- ja kuitulevyteollisuus* ovat kemiallista metsäteollisuutta huomattavasti vaatimatompia raaka-aineen laadun suhteen. Lastulevyteollisuudessa hakkeelta edellytetään lähinnä isopalaisuutta, jotta lastutus onnistuisi hyvin ja syntyvä lastu olisi tasalaatuista (Hakkila 1976). Keskikerrokseen käytettävän lastun raaka-aineessa voidaan sallia kuorta ainakin normaaleina kokopuissa esiintyvinä pitoisuuksina, mutta pintalastun tulee olla puhdasta kuoresta, viheraineesta ja epäorgaanisista aineksista. Ongelmia aiheuttavat lähinnä hienojakeeseen sisältyvät viheraine, joka lisää liiman kulutusta, ja hiekka, joka tylsyyttää lastuamis- ja puuntyöstökoneiden teriä (Hakkila ym. 1975). Kuitulevyteollisuus on perinteisesti käyttänyt muulle metsäteollisuudelle kelvotonta raaka-ainetta. Prosessiteknisesti kuori- ja viherainepitoinen raaka-aine ei aiheuta ongelmia, mutta orgaaninen aines lisää jätevesikuormitusta merkittävästi (Hakkila ym. 1975). Hiekka ja muu epäorgaaninen aines on lopputuotteeseen jäädessään aina vakava vika.

### 13. Metsähakkeen laadun mittaamisesta ja käytännön laatuvaatimuksista

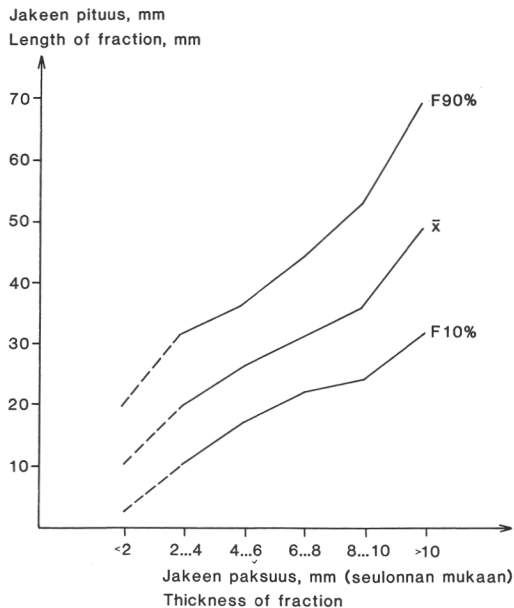
Kaiken metsäteollisuuden raaka-aineeksi käytettävän hakkeen, myös metsähakkeen, laatua mitataan samoilla menetelmillä. Mittaustuloksia tarvitaan ostohakkeen laadun valvontaan, mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteena syntyvän hakkeen hinnoitteluun sekä tutkimustarkoituksiin.

Normaalisti hakkeen laadun mittaus käsittelee palakokojakauman mittauksen seulomalla ja kuoren osuuden mittauksen käsin erottelemalla. Hatton (1978) on esittänyt mitattavaksi myös hakkeen kosteuden ja irtotilavuusyksikön kuiva-tuoretiheyden. Asian tärkeydestä huolimatta maailman kuudesta tärkeimmästä selluntuottajamaasta vain Neuvostoliitolla oli viralliset standardit v. 1976 (Hatton 1979).

Esimerkkinä säännöllisen mittauksen ostohakkeen laatua parantavasta vaikutuksesta mainittakoon Federal Paper Board -yhtiön Augustan sellu- ja kartonkitehdas Georgiasa USA:ssa (Parker 1988). Muutamassa vuodessa on lehtipuuhakkeen ylisuuren jakeen osuus alentunut 20–25 %:sta lähes nollaan, kuoren osuus 6,2 %:sta 0,5 %:iin ja massan normalisoitu viskositeetti on parantunut 2,5-kertaiseksi. Mäntyhakkeella kuoren osuus on vastaavasti alentunut 2,5 %:sta 0,7 %:iin ja viskositeetti parantunut 1,7-kertaiseksi.

*Williams-menetelmä* on Oy Keskuslaboratorion suomalaisille sellutehtaille vuonna 1965 suosittama (Keittolastujen... 1965) ja aikaisemmin ainoa käytetty menetelmä. Vuonna 1971 laadittiin ehdotus menetelmän uusimisesta (Saukkonen 1972), josta ei kuitenkaan tullut virallista analyysimenetelmää (Varhimo suull.). Williams-menetelmä hyväksyttiin myös kanadalaisissa TAPPI- ja amerikkalaisissa APPITA-standardeissa 1960-luvulla, mutta sittemmin se on hylätty (Hatton 1977a). Alunperin Williams-menetelmä suunniteltiin sahanhakkeen seulontaa varten, mikä on osasyynä siihen, ettei se anna luotettavaa kuvaa metsähakkeen palakokojakaumasta (Mäkelä 1977, Kanninen ym. 1979).

Menetelmässä määritetään erikseen hakkeen pituusjakauma reikäseulasarjalla ja paksuusjakauma rakoseulasarjalla. Seulakone toimii kiertoheilurimekanismilla liikkeen laajuuden ollessa 50 mm ja iskuluvun  $200 \pm 5/\text{min}$ . Seulat ovat neliön muotoisia tehollisen seulapinnan ollessa  $0,30-0,35 \text{ m}^2$ . Seulonta-asennossa seulojen tulee olla 100 mm:n päässä toisistaan. Reikäseulonnassa seulojen reiät ovat pyöreitä ja niiden läpimitat ovat ylhäältä lukien 32, 25, 19, 16, 13 ja 6 mm. Alimmaisena on pohjalaatikko hienomurskeen keräämiseksi. Rakoseulonnassa rakojen leveydet ovat vastaavasti 10, 8, 6, 4 ja 2 mm. Seulontanäytteen koko on  $15 \text{ dm}^3$ . Kokeissa seulontatulosten tarkkuus on 10, 15 ja  $21 \text{ dm}^3$ :n hakeannoksilla ollut samanlainen (Saukkonen 1972). Hakkeen kosteuden tulee olla yli 20 % näytteen tuoremassasta laskettuna, mutta hakkeessa ei saa olla pintavettä. Seulonta-aika on 5 min ja tulokset ilmoitetaan eri jakeiden osuuksina näytteen tuoremassasta 0,1 %:n tarkkuudella. Liian pitkään seulottaessa hake saattaa jauhautua pienemmäksi, joskaan tätä asiaa ei ole tutkittu (Juvonen ym. 1987). Seulottaessa sama sahanhakenäyte viisi kertaa on eri jakeiden



Kuva 1. Kuitupuuhakkeen hakepalojen pituuden ja paksuuden välinen riippuvuus. Purua on poistettu 20 % jakeen kuivamassasta ennen sen pituuden mittausta (Lähde: Mäkelä 1977).

Fig. 1. Correlation between length and thickness of the chip particles in pulpwood chips. A total of 20 % of the total dry weight of the fraction was removed in the form of dust before length measurement (Reference: Mäkelä 1977).

osuuden keskihajonta ollut kuitenkin vain 0,07–0,30 %, mikä viittaa varsin hyvään toistettavuuteen (Saukkonen 1972).

Williams-seulonnalla on eräitä merkittäviä heikkouksia, jotka heikentävät sillä saatavien tulosten vastaavuutta todellisen palakoon kanssa. Reikäseulonnassa pitkät ohuet tikut, neulamainen hake (leveys/paksuus < 2), läpäisevät ylimpien seulojen reiät (Palenius 1970, Edberg ja Eskilsson 1972, Mäkelä 1977, Kanninen ym. 1979, Juvonen ym. 1987). Koska pisimmät hakepalat ovat myös keskimääräistä paksampia (Saukkonen 1972, Mäkelä 1977) (kuva 1), joutuu alimmille seuloille liian paksua, keitossa kuituuntumaton haketta. Käytännössä hakepalat eivät reikäseulonnassa yleensäkaan lajitu pituuden vaan lähinnä leveyden mukaan. Dahmin ja Löschbrandtin (1960) mukaan hakkeen pituusjakaumassa on todellisuudessa huomattavasti vähemmän hajontaa kuin mitä reikäseulontatulokset osoittavat. Wahlmanin (1967) vertailussa taas kaksi reikäseulonnassa pituusjakaumaltaan samanlaiseksi todet-

tua hakenäytettä olivat paksuusjakaumaltaan erilaisia.

Ruotsissa ja Kanadassa on kehitetty menetelmät, jotka yhdistävät reikä- ja rakoseulonnan (Saukkonen 1972). Ruotsissa kehitetty tunetaan nimillä ”pinnflismetoden” ja *STFI-menetelmä* (Edberg ym. 1971). Kehitteillä oleva yhteispohjoismainen SCAN-test-menetelmä tulee pohjautumaan tähän (Varhimo suull.). STFI-seulakonetta valmistavat Pohjoismaissa Suomen Pulp Technics ja ruotsalaiset Stålsvets Ab ja Wennberg Ab, joista viimeksi mainitusta juontaa juurensa usein käytetty nimitys Wennberg-menetelmä (Varhimo suull.). Seulayhdistelmä koostuu ylhäältä lukien 45 mm:n reikäseulasta, 8 mm:n rakoseulasta, 7 mm:n reikäseulasta, 3 mm:n reikäseulasta ja purulaatikosta. Seulalevyt on molemmissa versioissa kiinnitetty kehikkoon kaksien vipuvarsien avulla. Epäkeskotanko antaa seulalle yksiulotteisen edestakaisen liikkeen, jossa iskun pituus on 120 mm ja taajuus 160/min. Näytteen koko on 8–10 dm<sup>3</sup> ja seulonta-aika 10 min, joskin Saukkosen (1972) mukaan jo 5 min:n seulonta riittäisi jakeiden tasaantumiseen 5, 10 ja 15 dm<sup>3</sup>:n kokoisilla näytteillä. Hakkeen kuiva-ainepitoisuuden ollessa 40–70 % se seulotaan sellaisenaan, mutta hakkeen ollessa läpimärkää sitä kuivatetaan ilmassa 1–2 h ennen seulontaa. Tulosten ilmaisutapa on samanlainen kuin Williams-seulonnassa. Seulottaessa sama hakenäyte viisi kertaa on eri jakeiden osuuden keskihajonta ollut 0,04–0,38 %, joten toistettavuus on varsin hyvä (Saukkonen 1972).

Kanadalaisessa, nimellä *WFPL-menetelmä* tunnetussa versiossa 8 mm:n rakoseulan tilalla on 10 mm:n rakoseula (Hatton 1975). Tässä Canadian Pulp and Paper Associationin v. 1977 rutiinikäyttöön hyväksymässä menetelmässä kolme suurinta jaetta lajitellaan seulonnan jälkeen käsin viiteen jakeeseen, joista osa palautetaan hyväksytyyn jakeeseen (Hatton 1979).

Ruotsissa on aikaisemmin käytetty *SÄBI-menetelmää* (”tunnflismetoden”), joka niinkään yhdistää reikä- ja rakoseulonnan (Paavilainen 1980). Siinä käytetään ylhäältä lukien 45 mm:n reikäseulaa, 8 mm:n rakoseulaa, 2 mm:n rakoseulaa, 5 mm:n reikäseulaa ja purulaatikkoa. Menetelmä jättää kuitenkin 2 mm:n rakoseulalle jäävään hyväksytyyn jakeeseen tikkujaetta. Vastaavasti 5 mm:n seulalevyille jää liian ohutta mutta muuten lähes normaalin veroista haketta.

Kanadassa on ehdotettu hieman tavanomaisesta STFI-menetelmästä poikkeavaa, Everett Metal Products Inc. -yhtiön kehittämää menetelmää sulfaattiselluhakkeen seulontaan (Paavilainen 1980). 3 mm:n reikäseula on korvattu siinä seulalla, jossa on harvassa 4 mm:n reikiä neulalastujen erottelemiseksi hienojakeesta. Canadian Car Division on puolestaan esitellyt menetelmän, jossa seulojen reikien tilalla on nelion muotoiset aukot (Hatton 1978).

Metsola (1983) on käyttänyt ns. uutta Williams-koeseulaa, joka itse asiassa muistuttaa enemmän STFI- kuin Williams-seulaa reikä- ja rakoseulonnan yhdistämisen vuoksi. Siinä on ylhäältä lukien 32 mm:n reikäseula, 10 mm:n rakoseula, 25 mm:n reikäseula, 13 mm:n reikäseula, 6 mm:n reikäseula ja purulaatikko.

Hatton (1977b) on esittänyt oksahakkeen koeseulontaan ainoastaan kahdesta seulalaa- timesta, 8 tai 10 mm:n rakoseulasta ja 2 mm:n rako- tai 7 mm:n reikäseulasta koostuvaa yhdistelmää. Myös ylipaksua jaetta voitaisiin tässä pitää kelvollisena sulfaattisellun raaka-aineena edellyttäen, että sen paksuutta alennetaan ennen prosessia esim. puristamalla. Hienojae saattaisi korkean neulaspi- toisuutensa ansiosta soveltua kemian teollisuuden raaka-aineeksi tai karjan rehuksi.

Toimintaperiaatteensa puolesta edellä mainituista oleellisesti poikkeavia seulontamenetelmiä ovat kanadalainen *Domtar-rumpuseulonta* (Lapointe 1979) ja amerikkalainen *automaattiseulonta* (Marss 1987). Molemmissa menetelmissä raaka-aineeksi soveltumattomat jakeet lajituvat hakkeesta vaakatasossa pyörivän ja täryttävän 8-särmäisen rummun ulkokehällä olevien reikä- ja rako- levyjen läpi ja hyväksytyt jakeet jäävät rummun sisään. Amerikkalaisesta automaattiseulonnasta on olemassa on-line- ja off-lineversiot. Edellisessä hakenäytteen otto ja annostelu laitteeseen tapahtuu automaattisella näytteenottolaitteella, jälkimmäisessä käsin. Mittaukset ja tulostukset tapahtuvat molemmissa tapauksissa automaattisesti. Suuri etu on luonnollisesti mittauksen nopeus ja vähäinen ihmistyön tarve.

Amerikkalainen Long Fiber Co. on kehittänyt Domtar-rumpuseulonnasta oman menetelmänsä (Sakamoto 1985). Siinä hake lajitellaan ensin paksuuden mukaan rumpuseulonnalla ja sen jälkeen vielä neljään pituusjakeeseen SWEKO-seulonnalla. Jakeiden punnitustiedot rekisteröidään tietoko-

neella, joka laskee näytteelle hakkeen laatua kuvaavan indeksiluvun.

Hakkeen kuoripitoisuuden mittaaminen on mahdollista vain käsin nykyisin käytettävissä olevilla menetelmillä. Haketutkimustoimikunnan ehdottamassa menetelmässä sopiva näyte on 3–4 dm<sup>3</sup> (Sahanhake... 1972). Siinä hakepalasessa kiinni olevaa nilaa ei katsota kuoreksi, jos nilassa ei ole mukana ulko-kuorta, tulevassa SCAN-test -menetelmässä kylläkin. Käytännössä kuoren määrittely vaihtelee kuitenkin tehdaskohtaisesti (Juvonen ym. 1987). Kuoripitoisuus lasketaan hakkeen kokonaiskuivamassasta, jossa myös kuoren oma massa on mukana.

Metsähakkeelle ei ole olemassa yleisiä, hakekaupan osapuolten välillä sovittuja laatuvaatimuksia, vaan eri tehtaat noudattavat omia, lähinnä käytännön kokemuksen kautta määräytyneitä vaatimuksiaan. Palakokovaatimukset pohjautuivat aikaisemmin Williams-seulontaan ja metsähakkeelle sovittujen vaatimusten puuttuessa vedottiin yleensä Saha-teollisuuden sivutuoteyhdistyksen ja Teollisuuden paperipuu yhdistyksen v. 1971 sopimiin, sahanhakekaupassa käytettyihin havupuisen keittohakkeen laatu- ja mittamääräyksiin (Uusvaara ja Heiskanen 1975). Niiden mukaan hakkeesta oli kuuluttava vähintään 95 % 6–32 mm:n pituusluokkiin, korkeintaan 2 % sai kuulua alle 6 mm:n pituusluokkaan eli purujakeeseen ja kuoripitoisuus sai olla korkeintaan 1 %, jotta hake olisi täyttänyt täysihintaisen priimahakkeen laatuvaatimukset. 6–32 mm:n pituusluokkien osuuden alittaessa 80 % ja/tai kuoripitoisuuden ylittäessä 3 % ei hake ollut enää kelpoista keittohakkeeksi.

Sahanhakkeen laatuvaatimusten soveltamista metsähakkeelle voidaan jo pelkästään hankinnan erilaisten perusteiden vuoksi pitää kohtuuttoman ankarina. Metsähaketta hankitaan käytännössä pienpuuleimikoiden korjuun kustannusten alentamiseksi ja kuitupuuhakkeeseen sekoitettavaksi, kun taas sahanhaketta hankitaan sahojen arvokkaiden sivutuotteiden hyödyntämiseksi ja sellaisenaan sellun valmistuksessa käytettäväksi. Sittemmin onkin metsähakkeelle laadittu omat epäviralliset laatuvaatimuksensa, jotka perustuvat STFI-seulonnalla saataviin palakokojakaumatuloksiin. Niiden mukaan seulomattomassa metsähakkeessa 7–45 mm pitkän ja alle 8 mm paksun jakeen muodostamaa hyväksyttyä jacta eli akseptia tulisi olla vähintään 65 %, alle 7 mm pitkää eli tikku-

ja purujacta korkeintaan 15 % ja yli 45 mm pitkää eli ylisuurta ja yli 8 mm paksua eli ylipaksua jacta yhteensä korkeintaan 20 % (esim. Nissi 1984).

Sulfaattihakkeelle on Teollisuuden Puuyhdistys suosittanut 1.7.1988 lukien käytettäväksi uusia, niinkään STFI-seulontaan perustuvia laatuohjeita (Sulfaattihakkeen... 1988). Niiden mukaan on priimalaadun hakepalan pituus kaikilla hakelaaduilla (sulfaattihake, sulfiittihake, hierrehake) 7–45 mm ja paksuus enintään 8 mm. Perushintaisessa hake-erässä on priimahaketta oltava vähintään 81 % siten, että karkeajacta (pituus yli 45 mm, paksuus yli 8 mm) saa olla enintään 12 % ja hienojacta (pituus alle 7 mm) enintään 7 %. Kuoripitoisuusvaatimukset ovat vanhojen vaatimusten mukaiset. Ruotsalaisissa ja norjalaisissa, SÅBI-seulontamenetelmään perustuvissa laatuvaatimuksissa hakkeen hylkäysrajat ovat selvästi suomalaisia väljemmät ja hinnanalennukset pienemmät (Vethe ja Foslie 1984, Paajanen ja Merra 1988). Uudet laatuohjeet merkitsevät käytännössä hakkeen paksuusrajoituksen kiristymistä. Pituusvaatimuksen muutos merkinnee hakkeen keskipituuden kasvamista, joskin aikaisempaa ohuemman hakkeen valmistus pienentää tätä vaikutusta (Juvonen ym. 1987).

## 14. Tutkimuksen tavoitteet

Metsähakkeen, kuten muunkin hakkeen laatua tutkittaessa on käytetty varsin kirjavia menetelmiä yhtenäisten standardien ja suositusten puuttuessa muilta hakelajeilta kuin sahanhakkeelta. Palakokojakaumaa tutkittiin pitkään Williams-seulonnalla, ja vasta 1980-luvun alkuvuosina siirryttiin käyttämään STFI-seulontaa. Koeseulontojen antama kuva varsinkin metsähakkeen todellisesta palakokojakaumasta on kuitenkin varsin virheellinen (luku 13), eivätkä tulokset vastaa hakkeen todellista käyttöarvoa. Koeseulonnat eivät myöskään kiinnitä huomiota jakeittaiseen biomassan koostumukseen, jolla itse asiassa on suurikin vaikutus jakeitten käyttöarvoeroihin. Lisäksi eri seulontamenetelmillä saatavien tulosten vertailu on hankalaa.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään Williams-reikäseulonnalla metsähakkeen pi-

tuusjakaumasta saatavien ja STFI-seulonnan yhdistetystä pituus- ja paksuusjakaumasta saatavien tulosten vertailukelpoisuus ja esittämään matemaattiset yhtälöt, joilla tulokset voidaan muuntaa toisiaan vastaaviksi. Lisäksi pyritään selvittämään tutkittavilla menetelmillä saatavien tulosten todenmukaisuus ts. jakeitten todellisten ja nimellisten dimensioitten vastaavuus sekä biomassan koostumus. Vertailun vuoksi esitetään eräitä tuloksia käytännön tehdasseulonnan vaikutuksesta metsähakkeen palakokojakaumaan ja biomassan koostumukseen sekä tehdasseulontasaannosta ja koeseulonnan siitä antaman kuvan oikeellisuudesta.

## 2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Tutkimuksen empiirinen aineisto kerättiin v. 1984–1987 Metsäntutkimuslaitoksen metsähakkeen ominaisuuksia käsittelevien tutkimusten (Uusvaara ja Verkasalo 1987, Verkasalo 1987) yhteydessä. Aineisto koostui neljällä erilaisella hakkurilla (TT 1500 LP -laikkahakkuri, TT 97 R- ja TT 910 R -rumpuhakkurit, Pete 1000 -kartiorumpuhakkuri) sekä kesäoloissa (sulanut puun aika) että talvioloissa (jäätynneen puun aika) tehdystä kokopuu-, kuitupuun- ja hakkuutähdehakeesta TT 1500 LP- ja Pete 1000 -hakkurien hake tehtiin ainespuun kokoisesta puusta sulfaattisellun raaka-aineksi. TT 97 R ja TT 910 R -hakkureilla tehty hake tehtiin markkinakelvottomasta pienpuusta ja hakkuutähdeestä ja käytettiin energian tuotantoon. Hakepuu luokiteltiin kuivuuksasteen perusteella seuraavasti:

Kuivuuksaste	Varastointiaika
Tuore	Korkeintaan 3 viikkoa sulanut puun aikana
Varastoitu	Yli 3 viikkoa sulanut puun aikana
Ylivuotinen	Vähintään yhden kevään, kesän ja syksyn yli

Näytteiden jakauma hakkurin, hakepuun ja vuodenaajan mukaan oli taulukon 2 mukainen.

Näytteenoton perusyksikkönä oli hakekuorma, jota purettaessa syntyneen hakekasan eri osista kerättiin noin 15 dm<sup>3</sup>:n seulontanäyte. TT 1500 LP -hakkurilla kesällä tehdystä hakeesta otettiin kaksi tällaista näytettä. Yhdestä satunnaisesti valitusta kuormasta leimikkoo kohti otettiin lisäksi 1–2 dm<sup>3</sup>:n näyte hakeen biomassan koostumuksen mittausta varten. Näytteiden analysointia varten seurattiin hakkurin terien kuntoa ja vaihtoa.

Hakenäytteet seulottiin osaksi Veitsiluoto Oy:n selluloosateollisuuden laboratoriossa Kemissä ja osaksi Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla. Näytteet seulottiin ensin Williams-reikäseulontamenetelmällä ja sen jälkeen STFI-menetelmällä luvussa 13 esitettyjen standardien mukaisesti. Näytteistä, joita oli otettu kaksi kuormaa kohti, seulottiin kuitenkin

Empiirisen aineiston keruun ja käsittelyn järjestyksessä avustivat Veitsiluoto Oy:n tutkimusosasto ja Kemmin hankinta-alue, Vapo Oy:n Rovaniemen työpiiri, Hämeenlinnan kaupungin metsätoimisto ja Enso-Gutzeit Oy:n metsätoimiala hakeurakoitsijoineen. Tutkimuksen kenttätöissä avustivat Tapio Järvinen, Hannu Kalaja, Tapio Nevalainen ja Jukka Pietilä. Laboratoriotöissä avustivat Seija Hiltunen ja Tapio Nevalainen. Tekstinkäsittelystä vastasivat Susanna Järvinen ja Maija Tuuri ja grafiikasta Leena Muronranta. Käsikirjoituksen julkaisukuntoon saattamisesta huolehtivat Pirkko Kinanen ja Raija Siekinen. Käsikirjoituksen lukivat professorit Pentti Hakkila ja Olli Uusvaara Metsäntutkimuslaitokselta, professori Esko Mikkonen Helsingin yliopistosta, professori Risto Juvenon Teknillisestä korkeakoulusta sekä DI Antero Varhimo Oy Keskuslaboratoriosta. Esitän parhaimmat kiitokseni kaikille tutkimukseen osallistuneille.

kin toinen Williams-reikäseulonta- ja toinen STFI-menetelmällä. STFI-tyyppinen seula oli Veitsiluoto Oy:stä Stålsveltsin valmistama, Metsäntutkimuslaitoksella yksityisessä konepajassa mittapiirustusten mukaan teetetty ja hieman huonokuntoinen. Edellisessä rakolevyjen tangoista aina joka toinen oli muita korkeammalla, kun ne jälkimmäisessä olivat samalla tasolla, kuten Suomen Pulp Technics'in valmistamassa seulassa. Varhimon (suull.) mukaan edellinen antaa hieman suurempia ylipaksun jakeen osuuksia kuin jälkimmäinen.

Yhdestä satunnaisesti leimikkoo kohti valitun STFI-seulontanäytteen hyväksytystä jakeesta mitattiin hakepalojen, oksanpätkien ja irtonaisten kuoripalojen todelliset pituudet ja verrattiin niitä jakeiden nimellisipituuksiin. Yhden satunnaisesti leimikkoo kohti valitun STFI-seulontanäytteen hyväksytystä jakeesta mitattiin hakepalojen, oksanpätkien ja kuoripalojen todelliset pituudet, paksuudet ja leveydet ja biomassan koostumus, jolloin toisistaan eroteltiin rungon ja oksien puuaine ja kuori sekä viheraine. Tämä mitattiin myös vastaavista seulomattomasta hakeesta otetuista näytteistä.

Käytännön tehdasseulontakokeissa käsiteltiin viisi nuppiautokuormallista TT 1500 LP -hakkurilla kesäoloissa tehtyä tuoretta kokopuuhaketta, joka käytettiin sulfaattisellun valmistukseen. Taulukossa 3 on lueteltu eräitä hakekuormien ominaisuuksia. Kuormat punnittiin, niistä otettiin kosteusnäytteet ja niiden tilavuudet mitattiin Uusvaaran ja Verkasalon (1987) kuvailemilla menetelmillä. Jokaisen kuorman hake seulottiin erillään muusta hakeesta kaksivaiheisella Rader-kiekkoseulalla. Siinä hakeesta erotetaan ensimmäisessä vaiheessa karkeajae kiekkosarjalla, jossa kiekköväli (rako) on 12 mm, ja toisessa vaiheessa hienojae sarjalla, jossa väli on 2 mm. Seulonnassa erotettujen hieno- ja karkeajakeiden kuivamassat ja tilavuudet mitattiin ja hyväksytyin hakeen osuudet laskettiin näiden ja kuorman mittauksessa saatujen tulosten perusteella. Jokaisen kuorman hakeesta otettiin noin 15 dm<sup>3</sup>:n näyte STFI-koeseulontaa ja 1–2 dm<sup>3</sup>:n näyte biomassan koostumuksen määrittystä varten ennen seulontaa sekä seulonnan jälkeen sellun keittoon hyväksytystä jakeesta ja energian tuotantoon menneestä hieno- ja karkeajakeesta.

Taulukko 2. Seulontanäytteiden jakauma hakkurin, hakepuun ja vuodenajan mukaan.  
 Table 2. Distribution of screening samples by chipper, chipwood and season.

Hakkuri Chipper	Puulaji Tree species	Hakepuu – Chipwood Tavaralaji Assortment	Kuivuusaste Degree of dryness	Vuodenaika – Season		Yht. Total
				Kesä Summer	Talvi Winter Näytteitä, kpl Number of samples	
TT 1500 LP	Mänty Pine	Kokopuu Whole-tree	Tuore Fresh	32*	0	32
			Tuore Fresh	7*	10	17
	Koivu Birch	Kokopuu Whole-tree	Ylivuotinen Brown	12*	0	12
			Tuore Fresh	21*	7	28
			Ylivuotinen Brown	6*	0	6
	Kuitupuu Pulpwood	Varastoitu Seasoned	20*	0	20	
TT 97 R	Mänty Pine	Kokopuu Whole-tree	Tuore Fresh	0	6	6
			Ylivuotinen Brown	7	0	7
	Kuusi Spruce	Kokopuu Whole-tree	Tuore Fresh	0	13	13
			Ylivuotinen Brown	3	0	3
	Koivu Birch	Kokopuu Whole-tree	Ylivuotinen Brown	0	2	2
			Varastoitu Seasoned	1	0	1
	Leppä Alder	Kokopuu Whole-tree	Varastoitu Seasoned	2	0	2
			Tuore Fresh	3	0	3
	Paju Willow	Kokopuu Whole-tree	Tuore Fresh	3	0	3
			Tuore Fresh	3	5	8
	Lehtip. Hardw.	Kuitupuu Pulpwood	Tuore Fresh	3	0	3
Tuore Fresh			3	5	8	
Kuusivaltainen hakuutähde Spruce dominated slash	Kokopuu Whole-tree	Tuore Fresh	3	0	3	
		Tuore Fresh	3	5	8	
TT 910 R	Kuusivaltainen hakuutähde Spruce dominated slash		Tuore Fresh	9	0	9
Pete 1000	Mänty Pine	Kokopuu Whole-tree	Tuore Fresh	0	10	10
Yhteensä Total				126	53	179

\* Näytteitä otettiin itseasiassa kaksinkertaiset määrät (erilliset näytteet Williams-reikäseulontaa ja STFI-seulontaa varten).

\* In fact, twice the number of samples was taken (separate samples for Williams hole screening and STFI screening).

Taulukko 3. Tehdasseulontakokeissa käsiteltyjen kokopuuhakekuormien ominaisuuksia.  
 Table 3. Properties of the whole-tree chip loads in the mill screening tests.

Puulaji Tree species	Haketta – Chips		Hakkuutapa Cutting method	Hakepuu – Chipwood	
	Irto-m <sup>3</sup> Loose m <sup>3</sup>	kg kg		d <sub>1,3</sub> , cm DBH, cm	Tilavuus, dm <sup>3</sup> Volume dm <sup>3</sup>
Mänty – Pine	41,1	13 550	Ensiharvennus First thinning	7,9	48
Mänty – Pine 65% Kuusi – Spruce 15% Koivu – Birch 20%	42,5	15 300	Ensiharvennus First thinning	7,9	38
Kuusi – Spruce	41,5	13 650	Avohakkuu Clear cutting	7,5	35
Koivu – Birch	41,8	11 800	Ensiharvennus First thinning	6,5	23
Koivu – Birch 65%, Kuusi – Spruce 25% Mänty – Pine 10%	42,3	14 750	Ensiharvennus First thinning	7,2	30

### 3. TULOKSET LABORATORIOSEULONTAKOKEISTA

#### 31. Williams-reikäseulonnan ja STFI-seulonnan tulosten vertailu

Taulukossa 4 on esitetty Williams-reikäseulonnalla ja taulukossa 5 STFI-seulonnalla mitatut metsähakkeen palakokojakaumat hakkureittain ja hakepuulajeittain. Taulukossa 6 on puolestaan esitetty näiden tulosten perusteella lasketut erot eri menetelmillä saatujen hyväksytyin jakeen osuuksien välillä. Vaihtoehtoisina hyväksytyin jakeen osuuden laskentatapoina olivat Williams-menetelmäsä:

- Williams 1: 6–32 mm pituusjakeet
- Williams 2: 13–32 mm pituusjakeet
- Williams 3: 6–25 mm pituusjakeet

Näistä Williams 1 on teollisuushakkeen laadun mittauksessa käytettävä peruslaskentatapa, ja kaksi muuta lähinnä hypoteettisia, tässä vertailun vuoksi käytettyjä laskentatapoja. Williams 2 -laskentatavan käyttöä voidaan perustella 6–13 mm:n pituusjakeen yleensä suurehköllä kuori- ja viherainepitoisuudella ja Williams 3 -laskentatavan käyttöä 25–32 mm:n pituusjakeen hakepalojen liian suurella paksuudella (Kanninen ym. 1979). Vertailukohtana käytettiin STFI-seulontaa, koska se antanee tutkituista menetelmistä lähinnä oikean kuvan hakkeen käyttökelpoisuudesta.

Williams 1 -menetelmällä saatiin keskimäärin 18 %-yksikköä (31 %) suurempia hyväksytyin jakeen osuuksia kuin STFI-menetelmällä. Ero oli laikkahakkureilla tehdyllä hakeella vain 4–16 %-yksikköä, kun se normaaleilla rumpuhakkureilla tehdyllä oli 10–23 %-yksikköä ja TT 97 R -rumpuhakurin muunnosversiolla tehdyllä peräti 59–76 %-yksikköä. Koivukoko- ja koivukuitupuuhakeella ero oli 10–13 %-yksikköä ja hakkuutähde- ja havukokopuuhakeella 14–23 %-yksikköä. Kesällä ero oli kokopuuhakeella 9–10 %-yksikköä suurempi ja hakkuutähdehakeella 11 %-yksikköä pienempi kuin talvella. Lisäksi ero oli tuoreesta puusta tehdyllä kuusikokopuuhakeella 6 %-yksikköä suurempi kuin ylivuotisesta puusta tehdyllä, mutta koivukokopuuhakeella ei vastaavaa eroa havaittu.

Williams 2 -menetelmällä saatiin keskimäärin 2 %-yksikköä (4%) pienempiä hyväksytyin jakeen osuuksia kuin STFI-menetelmällä. Hakkurityyppien välillä oli tässäkin suuria eroja, sillä laikkahakkureilla erotus oli lievästi negatiivinen, normaaleilla rumpuhakkureilla joko negatiivinen tai lievästi positiivinen ja TT 97 R -rumpuhakurin muunnosversiolla selvästi positiivinen. Hakepuulajin, tuoreusasteen ja vuodenajan vaikutukset olivat samansuuntaiset kuin Williams 1- ja

Taulukko 4. Williams-reikäseulontatulokset hakkureittain ja hakepuulajeittain.  
 Table 4. Results of the Williams hole screening by chipper and chipwood.

Hakkuri Chipper	Hakepuu Chipwood	Pituusjake, mm – Length fraction, mm							
		< 3	3–6	6–13	13–19	19–25	25–32	> 32	
		Tuoremassaosuus, % – Share of green weight, %							
TT 1500 LP	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	2,4	5,5	19,3	25,4	20,5	16,1	10,8	
	Kuusikokopuu <i>Spruce whole-tree</i>	5,8	10,0	21,9	23,1	16,7	12,8	9,5	
	Koivukokopuu <i>Birch whole-tree</i>	3,2	5,2	19,1	24,2	20,0	16,3	11,4	
	Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	2,6	2,3	14,0	23,5	21,7	19,1	16,4	
TT 97 R	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	2,6	6,7	20,2	20,2	19,5	15,3	15,6	
	Kuusikokopuu <i>Spruce whole-tree</i>	8,3	13,9	29,8	19,5	12,9	8,9	6,6	
	Koivukokopuu <i>Birch whole-tree</i>	2,4	4,9	15,2	17,7	17,6	17,2	25,0	
	Leppäkokopuu <i>Alder whole-tree</i>	4,1	5,9	19,6	19,7	18,0	14,9	17,7	
	Pajukokopuu <i>Willow whole-tree</i>	2,9	6,3	28,3	26,2	17,4	11,7	7,3	
	Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	3,9	4,3	23,6	26,8	20,2	12,8	8,6	
	Lehtikuitupuu <i>Hardwood pulpwood</i>	1,4	2,3	16,1	25,3	22,2	18,9	13,5	
	Hakkuutähde <i>Slash</i>	6,1	13,1	24,6	21,9	14,8	10,3	8,4	
	TT 910 R	Hakkuutähde <i>Slash</i>	9,3	16,6	21,6	13,5	9,4	8,1	11,9
Pete 1000	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	3,1	9,6	23,3	23,7	17,6	12,1	10,6	

STFI-menetelmän välillä. Useimmissa tapauksissa Williams 2 -menetelmällä päästiin selvästi lähemmäs STFI-menetelmällä saatuja tuloksia kuin Williams 1 -menetelmällä.

Williams 3 -menetelmällä saatiin keskimäärin 3 %-yksikköä (5%) suurempia hyväksytyn jakeen osuuksia kuin STFI-menetelmällä. Laikkahakkureilla päästiin lähemmäs STFI-seulonnan tuloksia kuin Williams 1 ja 2 -menetelmissä, kun taas rumpuhakkureilla Williams 2 -menetelmä oli yleensä Williams 3-menetelmää tarkempi.

Yleisesti ottaen eri Williams-menetelmillä ja STFI-menetelmällä saatujen hyväksytyn jakeen osuuksien ero oli sitä suurempi mitä pienempi oli hyväksytyn ja mitä suurempi ylipaksun jakeen osuus STFI-seulonnassa. Ero vaihteli kuitenkin huomattavasti samantyyppisestään hakkeesta otettujen näytteiden välillä: keskihajonnat olivat eron suuruudesta riippumatta korkeita, 2–10 %-yksikköä, minkä takia myös variaatiokertoimet

olivat korkeita, 4,6–100,0, ollen itse asiassa korkeimmillaan sellaisella hakkeella, jolla itse erot olivat pienimmillään.

Näytteenottomenetelmän, ts. seulottiinko sama näyte sekä Williams- että STFI-menetelmillä vai otettiin eri menetelmiä varten omat näytteensä, vaikutusta hyväksytyn jakeen osuserojen hajontaan tutkittiin TT 1500 LP -hakkurilla tehdystä tuoreesta kuusi- ja koivukokopuuhakkeesta otetuista näytteistä (taulukko 7). Selvää vaikutusta ei voitu todeta, sillä koivuhakkeella erillisten näytteiden käyttö johti odotetusti suurempaan mutta kuusihakkeella taas pienempään keskihajontaan kuin saman näytteen käyttö ja sillä koivuhakkeen osalta erolla oli vain lievää(\*) tilastollista merkitsevyyttä. Toisaalta eroja hyväksytyn jakeen osuuksissa esiintyi kuitenkin molempiin suuntiin erillisiä näytteitä käytettäessä, mikä viittaa vaikutuksen olemassaoloon. Lisävaikeuksia tulosten tulkinnaissa aiheutui siitä, että erillisten näytteiden

Taulukko 5. STFI-seulontatulokset hakkureittain ja hakepuulajeittain.  
 Table 5. Results of the STFI screening by chipper and chipwood.

Hakkuri Chipper	Hakepuu Chipwood	Seulontajae – Screening fraction				Puru Fines
		Ylisuuri Reikä 45 mm Overlarge Hole 45 mm	Ylipaksu Rako 8 mm Overthick Slot 8 mm Tuoremassaosuus, % Share of green weight, %	Hyväksytty Reikä 7 mm Accepts Hole 7 mm	Tikut Reikä 3 mm Pin chips Hole 3 mm	
TT 1500 LP	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	1,3	19,3	65,5	10,5	4,3
	Kuusikokopuu <i>Spruce whole-tree</i>	1,6	17,6	60,3	12,7	7,8
	Koivukokopuu <i>Birch whole-tree</i>	2,0	16,4	68,2	9,2	4,2
	Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	2,0	14,7	74,1	6,1	3,1
TT 97 R	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	1,5	30,3	53,2	11,3	3,7
	Kuusikokopuu <i>Spruce whole-tree</i>	5,7	12,1	57,3	16,9	9,2
	Koivukokopuu <i>Birch whole-tree</i>	6,3	26,9	55,0	8,6	3,1
	Leppäkokopuu <i>Alder whole-tree</i>	3,4	74,5	10,3	6,9	5,2
	Pajukokopuu <i>Willow whole-tree</i>	4,3	70,0	13,9	7,2	3,6
	Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	2,2	11,7	73,0	9,8	3,4
	Lehtikuitupuu <i>Hardwood pulpwood</i>	4,3	84,0	6,7	2,7	1,6
	Hakkuutähde <i>Slash</i>	3,0	61,1	12,7	12,4	9,5
	TT 910 R	Hakkuutähde <i>Slash</i>	7,3	21,4	36,2	17,1
Pete 1000	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	3,2	31,6	54,0	8,5	2,8

menetelmää käytettiin vain kesällä tehdyn ja saman näytteen menetelmää vain talvella tehdyn hakkeen seulonnassa.

Koska Williams- ja STFI-menetelmillä saatujen hyväksytyjen jakeen osuuksien vertailu keskimääräisten %-yksikköerojen perusteella johti kohtuuttomiin virheisiin, kokeiltiin erilaisten lineaaristen regressiomallien käyttöä. Selitettävänä muuttujana malleissa oli joko ko. Williams-menetelmällä saatu hyväksytyjen jakeen osuus tai sillä ja STFI-menetelmällä saadun hyväksytyjen jakeen osuuden erotus. Selittävänä muuttujana oli joko STFI-menetelmällä saatu hyväksytyjen jakeen osuus tai Williams- ja STFI-menetelmien tärkein periaatteellinen ero, ylipaksun jakeen osuus. Kokeillut mallit ja niiden selitysasteet ilmenevät taulukosta 8.

Tarkimmin voitiin eri menetelmillä saatuja tuloksia vertailla mallilla, jossa hyväksytyjen jakeen osuuseroja selitettiin ylipaksun jakeen osuudella STFI-seulonnassa, jolloin

mallin selitysaste oli 0,701–0,918. Paras tulos saatiin tällöin selitettäessä Williams 2-menetelmän ja STFI-seulonnan välisiä eroja. Itse asiassahan tätä muotoa oleva malli ilmoittaa, miten paljon STFI-seulonnassa eroteltavasta ylipaksusta jakeesta on mukana Williams-seulonnan hyväksytyssä jakeessa. Williams-seulonnan hyväksytyjen jakeen osuus johdetaan siis STFI-seulonnan tuloksista lisäämällä/vähentämällä mallilla saatu ero STFI-seulonnassa saatuun hyväksytyjen jakeen osuuteen.

Tätä muotoa olevien mallien heikkoutena on kuitenkin se, ettei STFI-seulonnan hyväksytyjen jakeen osuutta voida suoraan johtaa Williams-seulonnan tuloksista. Tämä on kyläkin mahdollista välillisesti STFI-seulonnan hyväksytyjen ja ylipaksun jakeen regressiomallilla.

$$Y = 80,445 - 0,95420 \times (R^2 = 0,771)$$

Taulukko 6. Williams-reikäseulonnalla ja STFI-seulonnalla hyväksytyin jakeen osuudesta saatujen tulosten vertailu hakkureittain ja hakepuulajeittain. Hyväksytyin jakeen nimellimitat eri seulontamenetelmissä. Williams 1: pituus 6-32 mm, Williams 2: pituus 13-32 mm, Williams 3: pituus 6-25 mm, STFI: pituus 7-45 mm ja paksuus < 8 mm.

Table 6. Comparison of the share of accepts by Williams hole screening and STFI screening by chipper and chipwood. Nominal dimensions of the accepts in the various screening methods: Williams 1: length 6-32 mm, Williams 2: length 13-32 mm, Williams 3: length 6-25 mm, STFI: length 7-45 mm and thickness < 8 mm.

Hakkuri Chipper	Hakepuu Chipwood	Williams-reikäseulontamenetelmä Williams hole screening method					
		1		2		3	
		Ero hyväksytyin jakeen osuudessa STFI-seulontaan verrattuna The difference in the share of accepts compared with STFI screening					
		% yksikköä %-units		% yksikköä %-units		% yksikköä %-units	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
TT 1500 LP	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	+15,5	3,0	-3,8	4,5	-0,6	3,3
	Kuusikokopuu <i>Spruce whole-tree</i>	+14,2	6,0	-7,7	8,9	+1,4	6,4
	Koivukokopuu <i>Birch whole-tree</i>	+11,3	4,4	-7,8	6,0	-4,9	4,5
	Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	+4,1	4,1	-9,9	3,9	-15,0	4,3
	TT 97 R	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	+22,0	4,4	+1,7	6,9	+6,7
	Kuusikokopuu <i>Spruce whole-tree</i>	+13,8	10,3	-16,0	10,1	+5,0	8,8
	Koivukokopuu <i>Birch whole-tree</i>	+12,8	4,2	-2,4	5,8	-4,4	4,3
	Leppäkokopuu <i>Alder whole-tree</i>	+61,9	..	+42,3	..	+47,0	..
	Pajukokopuu <i>Willow whole-tree</i>	+69,6	..	+41,4	..	+58,0	..
	Koivukuitupuu <i>Birch pulpwood</i>	+10,4	..	-13,2	..	-2,5	..
	Lehtikuitupuu <i>Hardwood pulpwood</i>	+75,9	..	+59,8	..	+57,0	..
	Hakkuutähde <i>Slash</i>	+59,0	2,7	+34,4	5,5	+48,6	..
TT 910 R	Hakkuutähde <i>Slash</i>	+16,4	5,6	-5,2	7,3	+8,3	3,8
Pete 1000	Mäntykokopuu <i>Pine whole-tree</i>	+22,7	2,4	-0,6	4,1	+10,5	3,1

Yhtälössä Y = hyväksytyin jakeen osuus, %, ja X = ylipaksun jakeen osuus, %. Itse asiassa tällöin on kuitenkin kysymys kaksivaiheisesta muuntamisesta, jossa selittävät muuttujat ovat keskenään korreloituneita. Menetelmä antaa kuitenkin tarkempia tuloksia kuin suora lineaarinen regressio Williams- ja STFI-seulonnan hyväksytyin jakeen osuuden välillä, jonka tyyppisten mallien selitysaste oli vain 0,123 – 0,202.

## 32. Palakokojakaumatulosten luotettavuus

### 321. Williams-reikäseulonta

Williams-reikäseulonnassa hakkeen tulisi periaatteessa lajittua pisimmän dimensionsa eli pituutensa perusteella. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu, vaan varsinkin oksanpätkät ja myös pitkänomaiset hakepalat pyrkivät sivuttaisesta seulontaliikkeestä huolimatta nousemaan pystyasentoon ja sukeltamaan seulareikien läpi todellista pituuttaan pie-

Taulukko 7. Näytteenottomenetelmän vaikutus Williams 2- ja STFI-menetelmien hyväksytyyn jakeen osuuserojen hajontaan. TT 1500 LP -hakkurilla tuoreesta puusta tehty kokopuuhaake.

Table 7. The effect of the sampling method on the variation in differences in the share of accepts in the Williams 2 and STFI screening methods. Whole-tree chips made of green wood using a TT 1500 LP chipper.

Hyväksytyin hakkeen osuuseroa kuvaava tunnusluku The parameter describing the difference in the share of accepts	Kuusi – Spruce		Puulaji – Tree species		Koivu – Birch	
	Sama näyte The same sample	Erilliset näytteet Different samples	Sama näyte The same sample	Erilliset näytteet Different samples	Sama näyte The same sample	Erilliset näytteet Different samples
Keskihajonta, %-yksikköä Standard deviation, % units	3,14	1,35	3,55	5,35		
Variaatiokerroin Coefficient of variation	17,1	47,7	20,4	101,2		
Vaihteluväli, %-yksikköä Range of variation, % units	-23,4 – -13,8 (9,6)	-4,9 – +3,1 (8,0)	-20,8 – -13,6 (7,2)	-11,5 – +2,4 (13,9)		
Hyväksytyin jakeen osuuden keskihajonta STFI-seulonnassa, %-yksikköä Standard deviation of the share of accepts in STFI screening, % units	2,80	4,31	2,13	3,14		

Taulukko 8. Williams- ja STFI-seulontamenetelmillä saatujen tulosten vertailussa kokeillut lineaariset regressiomallit ja niiden selitysasteet (R<sup>2</sup>).

Table 8. The linear regression models tested in the comparison of screening results by the Williams and STFI methods and their R<sup>2</sup> values.

Regressiomalli – Regression model	R <sup>2</sup>
W1 = 64,815 + 0,18583 STFI	0,1624
W2 = 41,569 + 0,24387 STFI	0,2020
W3 = 54,449 + 0,11007 STFI	0,1230
W1 – STFI = 64,815 – 0,81417 STFI	0,7882
W2 – STFI = 41,569 – 0,75613 STFI	0,7090
W3 – STFI = 54,449 – 0,88993 STFI	0,8140
W1 – STFI = – 3,889 + 0,91261 STFI, YP	0,8390
W2 – STFI = 24,288 + 0,93426 STFI, YP	0,9180
W3 – STFI = –18,273 + 0,89706 STFI, YP	0,7010

W1 = Hyväksytyin jakeen osuus, %  
Share of accepts

W2 = – ” –

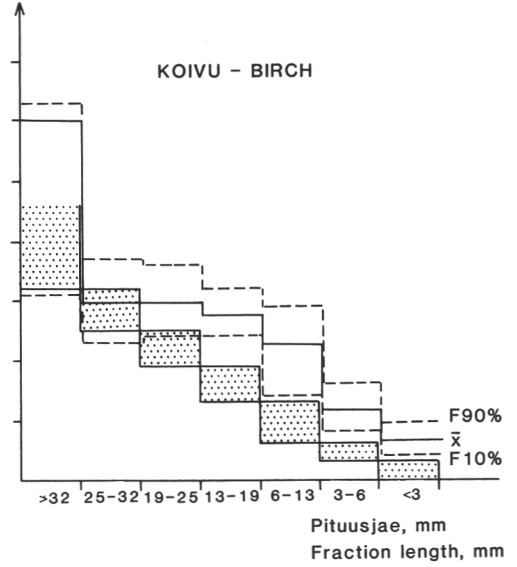
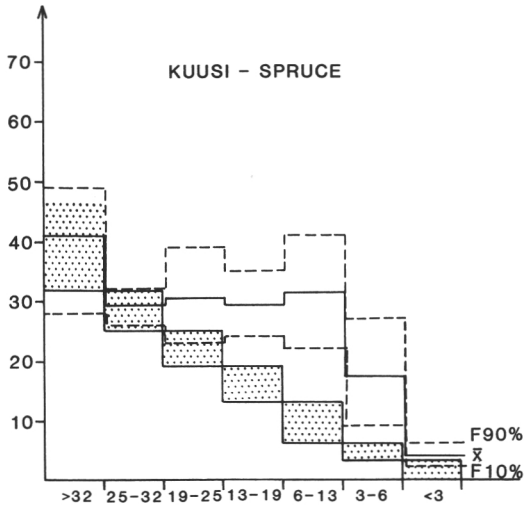
W3 = – ” –

STFI = – ” –

STFI, YP = Ylipaksun hakkeen osuus  
Share of overlarge chips

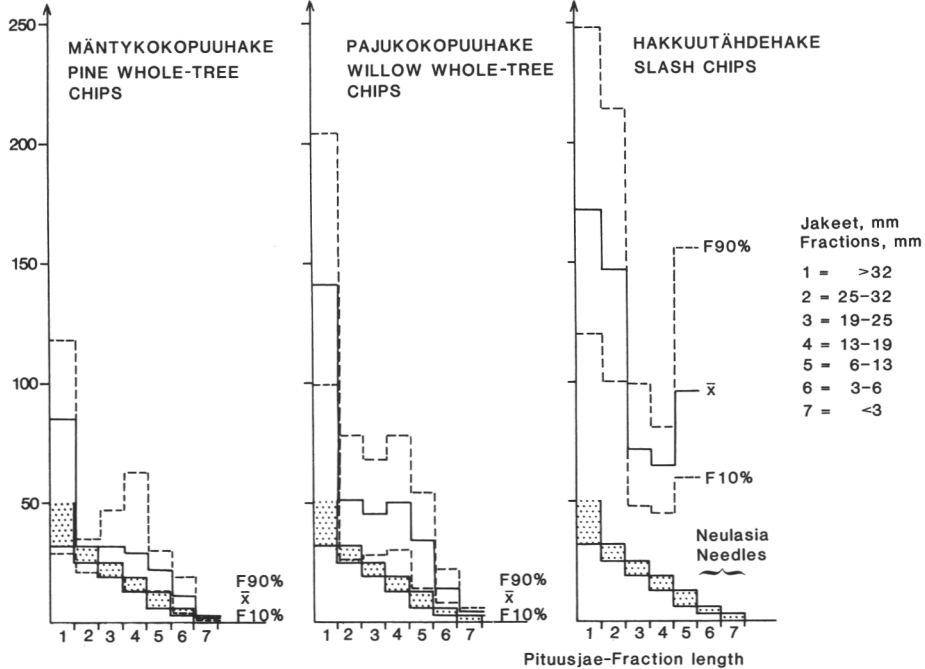
Williams 1 -menetelmässä  
in the Williams 1 method  
Williams 2 -menetelmässä  
in the Williams 2 method  
Williams 3 -menetelmässä  
in the Williams 3 method  
STFI-menetelmässä  
in the STFI method  
STFI-menetelmässä  
in the STFI method

Hakepalan pituus, mm  
Chip length, mm



Kuva 2. TT 1500 LP -hakkurilla tehdyn kokopuuhakkeen Williams reikäseulontatulosten luotettavuus.  
Fig. 2. The reliability of Williams hole screening results of whole-tree chips made by the TT 1500 LP chipper.

Hakepalan pituus, mm  
Chip length, mm



Kuva 3. TT 97 R -hakkurilla tehdyn hakkeen Williams-reikäseulontatulosten luotettavuus.  
Fig. 3. The reliability of Williams hole screening results of chips made by the TT 97 R chipper.

nempiin jakeisiin. Tästä seuraa suurimpien jakeiden osuuden aliarviointia ja vastaavasti pienimpien jakeiden osuuden yliarviointia.

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty yhtenäisellä viivalla eräistä hakelajeista mitatut palojen jakeittaiset keskipituudet, katkoviivoilla pituusrajat, joita lyhyempiä (F 90 %-käyrä) ja vastaavasti pitempiä (F 10 %-käyrä) 90 % paloista oli, sekä tummennuksella pituusalueet, joille palojen kussakin jakeessa olisi pitänyt kuulua. Hakkeen laatu sinänsä vaikutti huomattavasti tuloksiin. Palakokojakaumilta tasaisimmissa mänty-, kuusi- ja koivukokopuuahakkeessa (taulukko 3) palat olivat 3–25 mm:n jakeissa keskimäärin 5–19 mm:n nimellispituutta pitempiä, kun vastaava ero oli huomattavasti ohuemmasta ja oksaisemmasta materiaalista tehdyssä pajukokopuu- ja hakkuutähdehakeessa 8–83 mm ja eroa oli myös 25–32 mm:n jakeessa 19–115 mm. Lisäksi F 90 %-käyrät olivat jälkimmäisillä hakelajeilla selvästi korkeammalla tasolla ja F 90 %- ja F 10 %-käyrien tasoero oli suurempi kuin ensin mainituilla. Vasta F 10 %-käyrät olivat kohtuullisen lähellä nimellisiä pituusalueita, joten reikäseulontatulokset antoivat varsin virheellisen kuvan palojen todellisesta pituusjakaumasta.

Suuri osa reikäseulontatulosten virheellisyydestä johtui todellakin oksien seuloutumisesta liian pieniin jakeisiin, mitä kuvaa seuraava asetelma jakeittaisista hakepalojen ja oksien keskipituuksista TT 97 R -rumpuhakkurilla tehdyssä mänty- ja pajukokopuuahakkeessa:

Seulontajae, mm	Mäntykokopuuhake		Pajukokopuuhake	
	Hakepala	Oksa Pituus, mm	Hakepala	Oksa
Yli 32	41	139	47	205
25 – 32	23	99	35	170
19 – 25	21	93	25	114
13 – 19	17	63	35	113
6 – 13	14	48	20	116
3 – 6	9	..	24	53
Alle 3	2	..	..	..

Ottaen huomioon, että hakkeen seulontatulokset ilmaistaan tuoremassaosuuksina – ei hakepalojen kappaleosuuksina – , antavat seulontatulokset itse asiassa vielä virheellisemmän kuvan jalostettavan biomassan palakokojakaumasta kuin mitä edellä esitetystä on pääteltävissä. Seuraava asetelma osoittaa, että jakeiden nimellisiä pituuksia laskentaperusteina käytettäessä syntyy esim. hakkeen keskipituuden arvioinnissa suuria virheitä,

joita ovat sitä suurempia mitä epähomogeenisemmasta hakkeesta on kysymys:

Hakkuri ja hakelaji	Hakkeen keskipituus, mm	
	Jakeiden nimellisten pituuskien perusteella	Jakeiden todellisten pituuskien perusteella
TT 1500 LP		
Kuusikokopuuhake	13,0	27,1
Koivukokopuuhake	17,1	28,3
TT 97 R		
Mäntykokopuuhake	14,5	26,9
Pajukokopuuhake	14,7	45,2
Hakkuutähdehake	10,6	69,7

### 322. STFI-seulonta

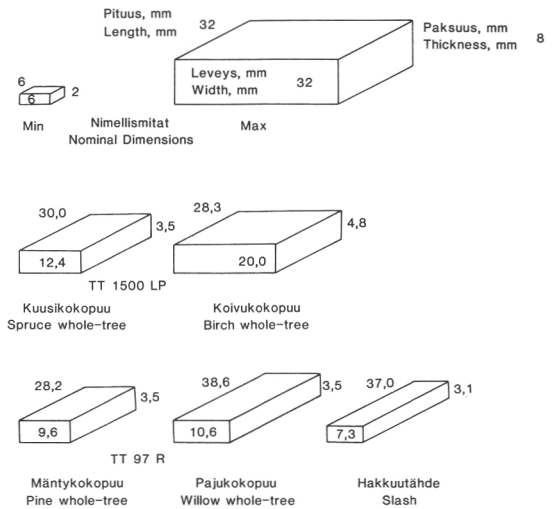
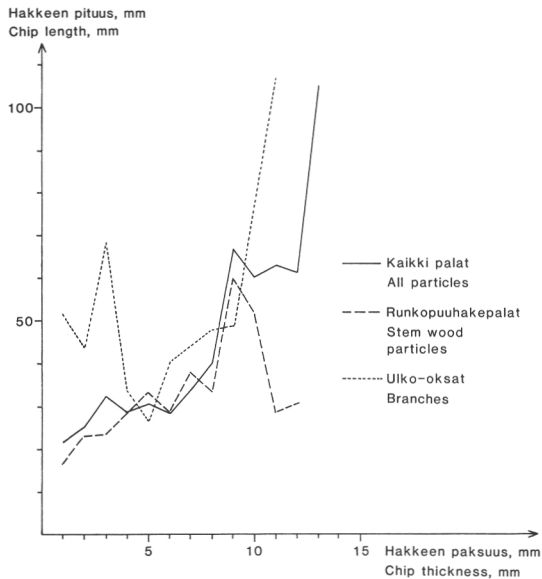
STFI-seulonnan tulisi periaatteessa antaa totuudenmukaisempi kuva hakkeen palakokojakaumasta kuin Williams-reikäseulonnan, koska:

- seulontajakeita ja näin ollen myös virhemahdollisuuksia on vähemmän
- ylipaksun hakkeen erottelu rakeseulan avulla vähentää myös ylipitkän hakkeen pääsyä seuraaville seulalevyille.

Kahta viimeksi mainittua perustetta tukee kuva 1 (s. 6), jonka mukaan kuitupuuahakkeen Williams-rakeseulonnessa hakepalojen pituus kasvaa selväpiirteisesti jakeen nimellispaksuuden mukana.

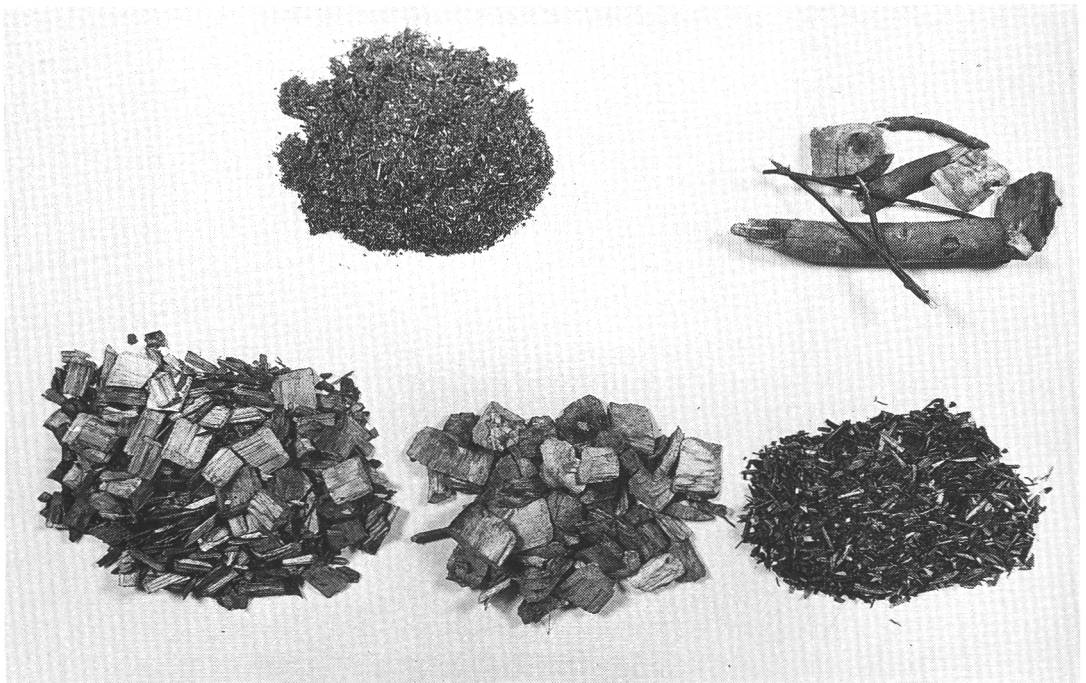
Kuvassa 4 on vertailun vuoksi esitetty tämän tutkimuksen STFI-seulonnan hyväksytyjen jakeiden kaikkien palojen, runkopuuahakkeiden ja ulko-oksien todellisen pituuden ja paksuuden väliset riippuvuudet 6 erilaisen kokopuu- ja hakkuutähdehakelajin keskiarvoina laskettuna. Keskimäärin riippuvuus oli erittäin selväpiirteisesti positiivinen. Ohuimmat ulko-oksapalat olivat kuitenkin erityisen pitkiä, mikä viittaa siihen, etteivät pienimmät oksat ole haketuksessa leikkautuneet vaan pikemminkin katkeilleet epämääräisesti. Paksuimmat runkopuuahakepalat ovat peräisin rumpuhakkurin hakkeesta, mikä selittää palan lyhenemisen sen paksuuden kasvassa yli 9 mm:n.

Kuvassa 5 on esitetty eräiden hakelajien STFI-seulonnan hyväksytyjen jakeiden todelliset keskimääräiset dimensiot nimellisiin minimi- ja maksimidimensioihin verrattuna. Hakkeen paksuus näyttää pysyneen hyvin asetetuissa rajoissa. Hakkeen pituusrajat kuitenkin ylittyivät varsin selvästi epähomogeenisimmilla hakelajeilla, pajukokopuu- ja hakkuutähde-



Kuva 4. STFI-seulonnan hyväksytyin jakeen kaikkien palojen, runkopuuhakkepalojen ja ulko-oksien pituuden ja paksuuden välinen riippuvuus.  
Fig. 4. Correlation between length and thickness of all particles, stemwood chip particles and outer branches in the accepts by STFI screening.

Kuva 5. Eräiden hakepuulajien STFI-seulonnan hyväksytyin jakeen keskimääräiset dimensiot nimellisiin minimi- ja maksimidimensioihin verrattuna.  
Fig. 5. The average dimensions of accepts by STFI screening compared to the nominal minimum and maximum dimensions of certain kinds of chipwood.



Kuva 6. Koivukokopuuhakkeen STFI-seulontajakeet. Ylh. vas: puru, ylisuuri. Alh. vas: hyväksytty, ylipaksu, tikut.  
Fig. 6. STFI screening fractions of birch whole-tree chips. Above from left: fines, overlarge. Below from left: accepts, overthick, pin chips.

hakkeella. Yksittäisten hakepalojen dimensiot, varsinkin pituus, vaihtelivat hyväksytyssä jakeessa erittäin paljon:

Hakkuri ja hakelaji	STFI, hyväksyty jae	
	Hakepalan pituus Vaihtelurajat, mm	Hakepalan paksuus
TT 1500 LP		
Kuusikokopuuhake	11 – 200	2 – 7
Koivukokopuuhake	15 – 37	2 – 12
TT 97 R		
Mäntykokopuuhake	8 – 95	1 – 8
Pajukokopuuhake	9 – 270	1 – 11
Hakkuutähdehake	13 – 210	1 – 6

Sulfaattisellun valmistuksen kannalta kriittinen hakkeen paksuus pysyi kuitenkin hyvin asetetuissa rajoissa, joten paksuuden puolesta prosessiin kelvollisen jakeen osuuden arviointi onnistuu STFI-menetelmällä luotettavammin kuin Williams-reikäseulontamenetelmällä. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty visuaalisia esimerkkejä seulontajakeiden palakokoeroista.

Taulukossa 9 on esitetty Hattonin (1975) STFI-menetelmällä saamia tuloksia kuitu-

puuhakkeen seulonnan luotettavuudesta. Sarakkeessa A ovat käsittelemättömän näytteen seulontatulokset ja sarakkeessa B seulontatulokset näytteestä, josta on käsin erotettu kuori. Sarakkeessa C ovat seulontatulokset näytteestä, josta käsin on erotettu kuori ja lajiteltu ylisuuri-, ylipaksu- ja hyväksyty jae jakeisiin todellinen ylite, hyväksyty hake, oksat ja pilaantunut puuaine. Kokonaisuutena STFI-seulonta on antanut erittäin hyvän kuvan hyväksyty jakeen osuudesta.

### 33. Hakkeen biomassan koostumus eri seulontajakeissa

#### 331. Williams-reikäseulonta

Metsähake sisältää puuaineen ohella vaihtelevia määriä kuorta, oksia, lehtiä, neulasia, silmuja ja jopa käpyjä. Kuvassa 8 on esitetty tässä tutkimuksessa mitattuja seulomattoman hakkeen biomassan koostumuksia hakkureitain ja verrattu niitä Kannisen ym. (1979) sa-



Kuva 7. Hakkuutähdehakkeen STFI-seulontajakeet. Ylh. vas: ylipaksu, tikut. Alh. vas: hyväksyty, puru, ylisuuri. Fig. 7. STFI screening fractions of slash chips. Above from left: overthick, pin chips. Below from left: accepts, fines, overlarge.

Taulukko 9. STFI-seulontatulosten luotettavuus kuitupuuhaketta seulottaessa (Hatton 1975).  
 Table 9. Reliability of the test results concerning particle size distribution of pulpwood chips by STFI screening (Hatton 1975).

A		B		C	
	%		%		%
Ylisuuri <i>Overlarge</i>	4,3	Ylisuuri <i>Overlarge</i>	3,9	Todellinen ylite <i>True overs</i>	3,6
Ylipaksu <i>Overthick</i>	5,7	Ylipaksu <i>Overthick</i>	5,3	Oksat — <i>Knots</i>	2,8
Hyväksytty <i>Accepts</i>	83,2	Hyväksytty <i>Accepts</i>	83,9	Hyväksyttävä hake <i>Acceptable chips</i>	85,1
				Pilaantunut puu <i>Decayed wood</i>	1,6
Tikut <i>Pin chips</i>	5,5	Tikut <i>Pin chips</i>	5,6	Tikut <i>Pin chips</i>	5,6
Puru <i>Fines</i>	1,3	Puru <i>Fines</i>	1,3	Puru <i>Fines</i>	1,3
Yhteensä <i>Total</i>	100,0	Yhteensä <i>Total</i>	100,0	Yhteensä <i>Total</i>	100,0

A = Käsittelemätön näyte — *Untreated chip sample*

B = Näytteestä erotettu kuori — *Bark removed from chip sample*

C = Näytteestä erotettu kuori sekä ylisuuri, ylipaksu ja hyväksytty jae lajiteltu käsin todelliseen ylitteeseen, hyväksytyyn hakkeeseen, oksiin ja pilaantuneeseen puuaineeseen  
*Bark removed from the chip sample and overlarge, overthick and accepts manually sorted into true overs, acceptable chips, knots and decayed wood*

Taulukko 10. Hyväksytyin jakeen puuainepitoisuus ja puuainehukka eri Williams-reikäseulontamenetelmissä hakepuulajeittain.

Table 10. Wood content of accepts and wood loss in various Williams hole screening methods by chipwood.

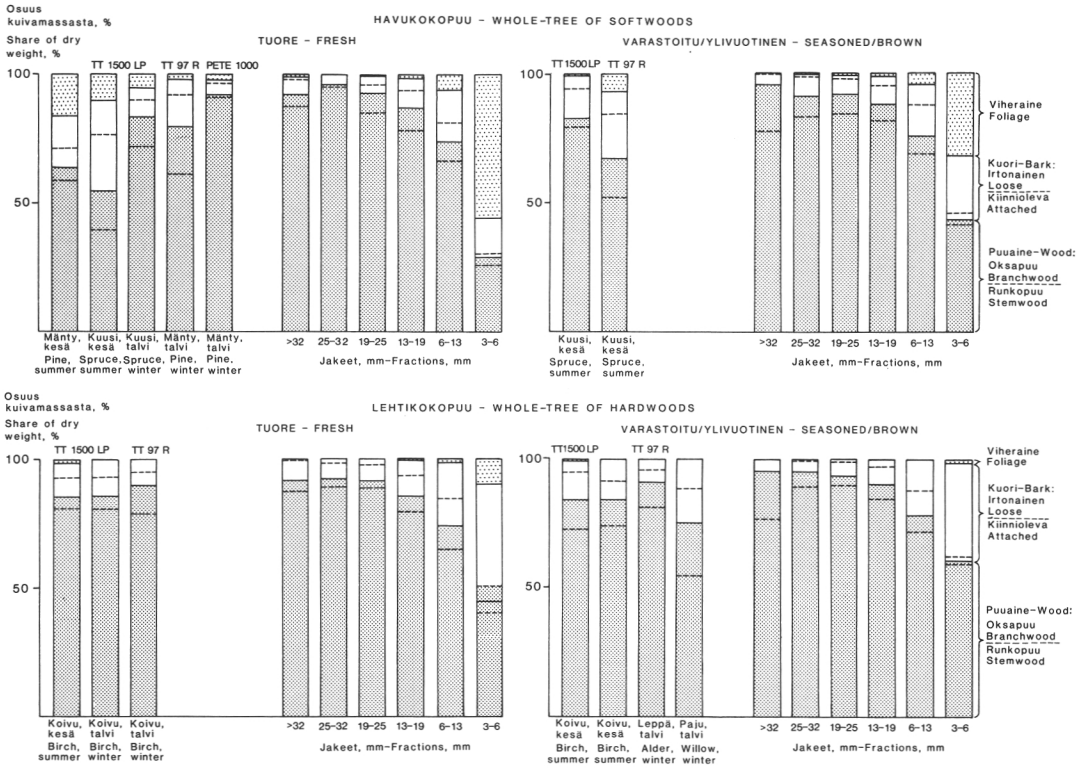
Hakepuulaji <i>Chipwood</i>	Hyväksytyin jakeen puuainepitoisuus, % kuivamassasta <i>Wood content of accepts, % of dry weight</i>			Puuainehukka, % puuaineen kuivamassasta <i>Wood loss, % of wood dry weight</i>		
	Williams-reikäseulontamenetelmä <i>Williams hole screening method</i>					
	1	2	3	1	2	3
Havukokopuu — <i>Whole-tree of softwoods</i>						
Tuore — <i>Fresh</i>	87,8	91,4	87,7	15,6	30,2	37,1
Ylivuotinen — <i>Brown</i>	83,9	89,0	83,0	9,8	40,1	20,6
Lehtikokopuu — <i>Whole-tree of hardwoods</i>						
Tuore — <i>Fresh</i>	84,4	88,7	82,9	9,2	30,9	25,4
Ylivuotinen — <i>Brown</i>	88,1	92,2	85,3	15,8	37,2	30,3

mantyyppisistä hakelajeista esittämiin Williams-reikäseulontajakeittäisiin koostumuksiin.

Runkopuun osuus pieniä selvästi palakoon myötä. Suurimmillaan se oli 19–32 mm:n jakeissa, 85–95 %, ja pienimmillään luonnollisesti erittäin viheraine- (havuhake) ja kuoripitoisessa (lehtipuuhake) 3–6 mm:n jakeessa, 25–60 %. Yli 32 mm:n jakeessa runkopuuta oli suurista hakepaloista huolimatta suhteellisen vähän suuren ulko-oksien

osuuden vuoksi. Muuten oksapuun osuus vaihteli varsin epäsäännöllisesti jakeittain, joskin jonkinlaista keskittymistä havaittiin myös 6–13 mm:n jakeeseen.

Hyväksytyin jakeen puuainepitoisuus oli luonnollisesti seulomatonta haketta korkeampi (taulukko 10). Seulonnan vaikutus oli kuitenkin varsin pieni, Williams 1 -menetelmässä 2–7 %-yksikköä, Williams 2 -menetelmässäkin vain 6–10 %-yksikköä. Hylätty-



Kuva 8. Seulomattoman hakkeen ja Kannisen ym. (1979) esittämät Williams-reikäseulontajakeiden biomassan koostumukset hakepuulajeittain ja kuivuuasteittain.  
 Fig. 8. Biomass composition of unscreened chips and fractions in Williams hole screening (Kanninen et al. 1979) by kind of chipwood and degree of dryness.

hin jakeisiin joutui puuainetta varsin paljon, enimmillään Williams 2 -menetelmässä 30–40 % puuaineen kokonaismäärästä, joten myöskään puuaineen hyväksikäytön kannalta Williams-reikäseulonta ei anna läheskään optimaalista kuvaa metsähakkeesta.

### 332. STFI-seulonta

Kuvassa 9 on verrattu seulomattoman hakkeen sekä siitä STFI-seulonnassa saadun hyväksytyyn jakeen biomassan koostumuksia. Runkopuun osuus oli hyväksytyssä jakeessa 15–45 %-yksikköä korkeampi kuin seulomattomassa hakkeessa. Ilmeisesti satunnaisena poikkeuksena oli tuore koivukokopuu-hake, jonka runkopuupitoisuutta seulonta päinvastoin pienensi. Viheraine- ja oksapuu-pitoisuuksia seulonta pienensi oleellisesti.

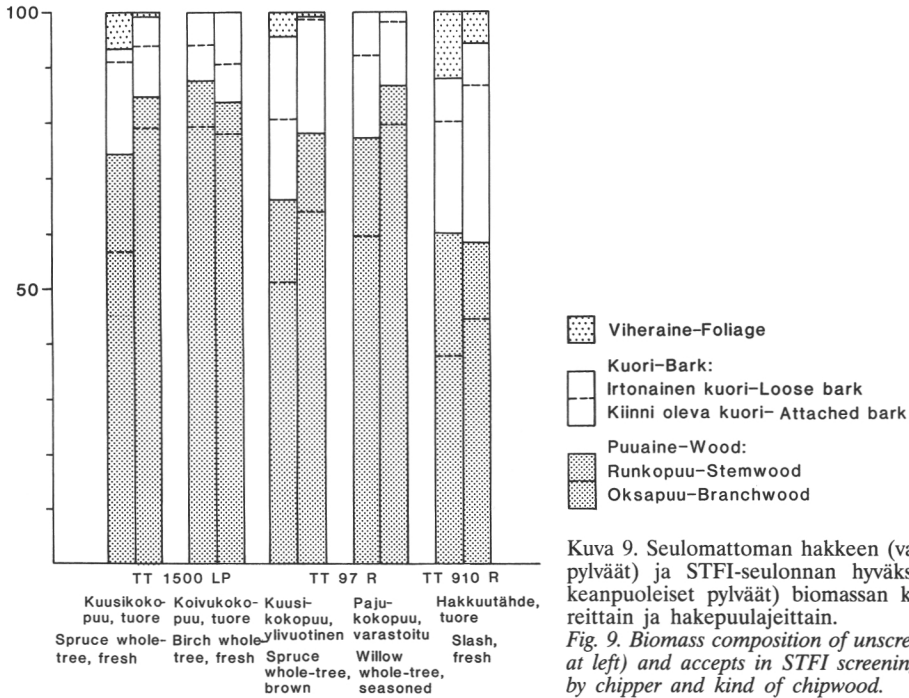
Muutokset kuoripitoisuudessa olivat epäyhtenäisiä. Kuvien 6 ja 7 esimerkit ilmentävät seulontajakeiden visuaalisia biomassan koostumuseroja.

Kuten Williams-reikäseulonnassakin lajitui osa hakkeen puuaineesta hyväksytyyn jakeen ulkopuolelle:

Hakkuri ja hakelaji	Puuainehävikki STFI-seulonnassa, % puuaineen kuivamassasta
TT 1500 LP	
Kuusikokopuu-hake	26,2
Koivukokopuu-hake	28,6
TT 97 R	
Kuusikokopuu-hake	29,2
Pajukokopuu-hake	21,4
TT 910 R	
Hakkuutähdehake	64,7

Puuainehävikki oli selvästi suurempi kuin Williams 1 -reikäseulonnassa, mutta kuitenkin pienempi kuin Williams 2 -reikäseulonnassa.

Osuus kuivamassasta, %  
Share of dry weight, %



Kuva 9. Seulomattoman hakkeen (vasemmanpuoleiset pylväät) ja STFI-seulonnan hyväksytyin jakeen (oikeanpuoleiset pylväät) biomassan koostumus hakku-reittain ja hakepuulajeittain.  
Fig. 9. Biomass composition of unscreened chips (pillars at left) and accepts in STFI screening (pillars at right) by chipper and kind of chipwood.

Hatton (1977b) on tehnyt vastaavanlaisen kokeen kontortamännyn, valkokuusen ja mustakuusen oksista ja latvoista tehdystä hakkeesta. Seulayhdistelmässä oli normaalin STFI-menetelmän 8 mm:n rakolevyn sijasta 10 mm:n rakolevy. Puuainetta ja siinä kiinni olevaa kuorta oli seulomattomassa hakkees-

sa vain 46 % mutta hyväksytyssä jakeessa jo 75 % ja karkeajakeen ja hyväksytyin jakeen yhdistelmässäkin 62 %. Kuitenkaan seulonta ei lajitellut biomassakomponentteja tehokkaasti, vaan puuaineen kokonaismäärästä joutui 12 % hienojakeeseen.

## 4. TULOKSET KÄYTÄNNÖN TEHDASSEULONTAKOKEISTA

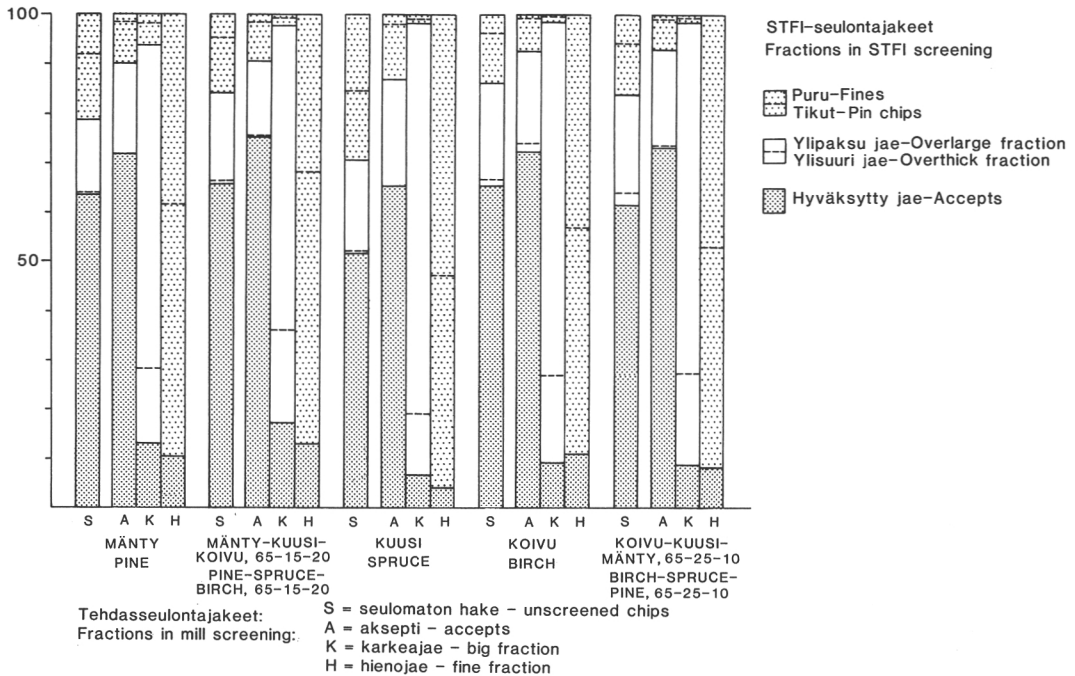
### 41. Tehdasseulonnan vaikutus kokopuu-hakkeen palakokojakaumaan

Sulfaattisellun valmistukseen käytettävän hakkeen tehdasseulonnassa pyritään hakkeesta erottamaan ennen kaikkea ylipaksu ja tikkumainen hake sekä hienojakeinen puru. Kuvassa 10 on esitetty Rader-kiekkoseululla suoritetun seulonnan vaikutukset viiden tyyppillisen metsähake-erän STFI-seulontajakeina ilmaistuun palakokojakaumaan. Kaikki hake-erät olivat TT 1500 LP -laikkahakkurilla tuoreesta kokopuusta kesällä tehtyä ha-

ketta.

Raaka-aineen palakoon perusteella hyväksytyin jakeen osuutta pystyttiin seulonnalla parantamaan 7–14 %-yksikköä. Lisäys oli suurimmillaan heikkolaatuisilla hakelajeilla, kuusi- ja sekahakkeella, minkä seurauksena hakelajien laatuero pieneni. Hyväksytyin jakeen osuuden kohoaminen johtui puru- ja tikkujakeen olennaisesta vähenemisestä. Ylipaksun jakeen osuus sitä vastoin jopa suureni eräissä tapauksissa, jolloin seulonnan päätaivoite jäi saavuttamatta.

Osuus tuoremassasta, %  
Share of green weight, %



Kuva 10. Rader-kiekkoseulalla suoritetun tehdasseulonnan vaikutus kokopuuhakkeen STFI-seulonnalla määritettyyn palakokojakaumaan.

Fig. 10. The effect of mill screening by Rader disc screen on the particle size distribution of whole-tree chips by STFI screening.

## 42. Tehdasseulonnan vaikutus kokopuuhakkeen biomassan koostumukseen

Palakokojakauman lisäksi tehdasseulonnalla pyritään vaikuttamaan hakkeen biomassan koostumukseen. Tavoitteena on vähentää havukokopuuhakkeella erityisesti viherainetta ja lehtikokopuuhakkeella kuorta. Kuvassa 11 on esitetty em. tehdasseulontamenetelmän vaikutukset kokopuuhakkeen biomassan koostumukseen.

Seulonnalla pystyttiin oleellisesti parantamaan puhtaan mänty- ja kuusihakkeen runkopuupitoisuutta, 15–17 %-yksikköä. Oksapuupitoisuus kohosi lisäksi vielä 4–6 %-yksikköä. Koivu- ja sekahakkeella ei vastaavia muutoksia juuri havaittu. Mäntyhakkeella puuainepitoisuuden kohoamisesta aiheutti 60 % viheraine- ja 40 % kuoripitoisuuden aleneminen. Kuusihakkeella vastaavat osuudet olivat 25 % ja 75 %. Seulontajätteen karkeajakeen puuainepitoisuus oli sen sisäl-

tämien ylisuurten hakepalojen vuoksi suunnilleen samaa luokkaa kuin seulonta-akseptin puuainepitoisuus. Havuhakkeella viherainepitoisuus oli oksanpätkissä kiinni olleiden neulaskimppujen vuoksi suurempi kuin seulonta-akseptissa. Koivuhakkeella karkeajae sisälsi varsin paljon kuorta. Hienojakeen puuainepitoisuus oli luonnollisesti alhainen siihen lajittuneen viheraineen (havuhake) ja irtotaimen kuoren (erityisesti koivu- mutta myös havuhake) vuoksi.

Karkeajakeen korkea puuainepitoisuus osoittaa, että tehdasseulonnassa osa periaatteessa jalostuskelpoisesta puuaineesta joutuu energian tuotantoon. Tämä ”puuainehukka” johtuu luonnollisesti lähinnä raaka-aineen haketuksesta, jonka onnistuminen pääosin määrää hakkeen palakoon. Taulukossa 9 ja kuvassa 11 esitettyjen tulosten perusteella laskettuna puuainehukka oli seuraavaa suuruusluokkaa:

Puulaji	Puuainehukka tehdasseulonnassa, % tuoremassasta
Mänty	1,6
Mänty – kuusi – koivu, 65 – 15 – 20, %	11,1
Kuusi	1,0
Koivu	27,5
Koivu – kuusi – mänty, 65 – 25 – 10, %	15,2

### 43. Kokopuuhakkeen tehdasseulonta-saanto

Prosessiin syötettävän raaka-aineen laadun ohella on sulfaattiselutehtaan raaka-ainetalouden kannalta oleellista, kuinka suuri osa tehtaalle vastaanotetusta raaka-aineesta saadaan seulonnassa talteen. Taulukossa 11 esitetyt selluhakkeen (seulonta-aksepti) saannot laskettiin Pietilän (1985) tulosten perusteella. Saanto vaihteli välillä 76–84 % ja oli paras puhtaalla mänty- ja koivuhakkeella ja huonoin kuusihakkeella. Energian tuotantoon ohjatusta seulontajätteestä oli karkeajaitta 1/3 ja hienoajaitta 2/3.

Selluhakkeen saantotulosten sekä kuvassa 10 esitettyjen seulomattoman ja seulotun hakkeen palakokojakaumatulosten perusteella voitiin laskea, paljonko toimitetusta hakkeesta ja sen hyväksytystä jakeesta saatiin seulonnassa hyväksyttyä jaitta prosessiin:

Puulaji	Hyväksyttyä jaitta prosessiin STFI-seulonnan mukaan	
	Toimitetusta hakkeesta	Toimitetun hakkeen hyväksytystä jakeesta % tuoremassasta
Mänty	60,5	94,8
Mänty – kuusi – koivu, 65 – 15 – 20, %	62,2	94,8
Kuusi	49,4	95,8
Koivu	60,6	92,8
Koivu – kuusi – mänty, 65 – 25 – 10, %	57,3	93,3

Tehtaalle toimitetusta hakkeesta oli varsinaista jalostettavaa raaka-ainetta siis vain 50–60 %. Hyväksytyn jakeen seulontahukka oli vielä siedettävä, 5–7 %.

Vertailtaessa selluhakkeen saantotuloksia STFI-seulonnan samoista hake-eristä antiimiin hyväksytyn jakeen osuuksiin voitiin STFI-seulonnan todeta aliarvioineen erittäin paljon hakesaantoa ja yliarvioineen hieman hyväksytyn jakeen saantoa:

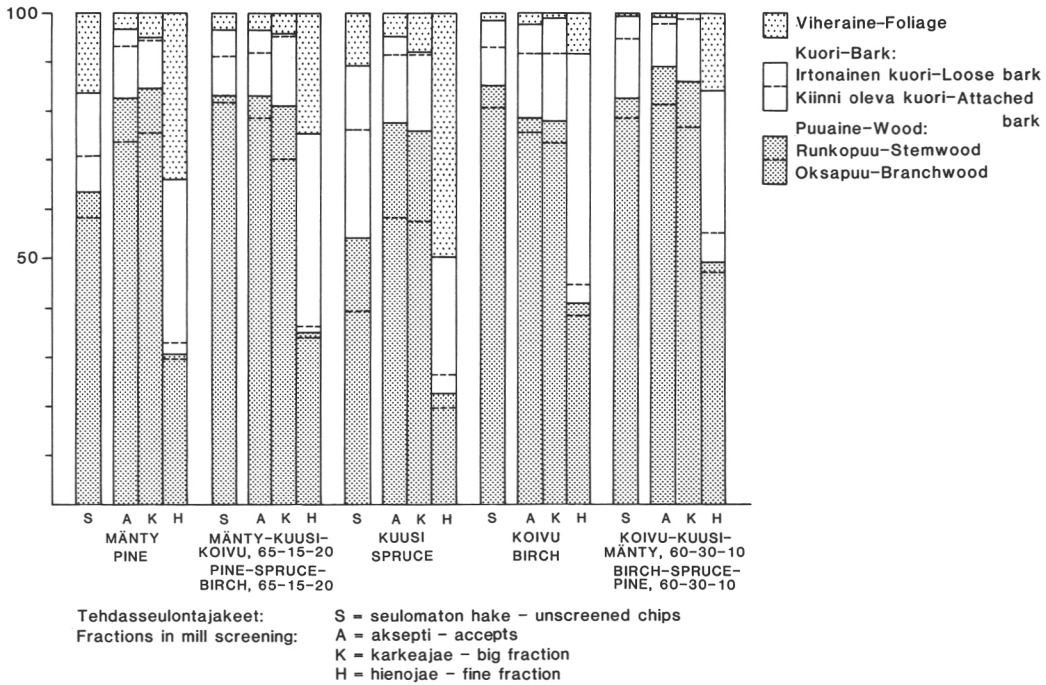
Puulaji	STFI-seulonnan hyväksytyn jakeen osuuden ja selluhakkeen tehdasseulontasaannon erotus, %-yksikköä	
	Hakesaanto	Hyväksytyn jakeen saanto
Mänty	– 20,4	+ 3,3
Mänty – kuusi – koivu, 65 – 15 – 20, %	– 17,0	+ 3,3
Kuusi	– 24,4	+ 2,2
Koivu	– 18,7	+ 4,7
Koivu – kuusi – mänty, 65 – 25 – 10, %	– 7,2	+ 4,1

Itse asiassa STFI-seulonta antoi siis varsin hyvän mutta kuitenkin hieman varovaisen kvantitatiivisen kuvan Rader-kiekkoseulonnasta kokopuuhakkeen käsittelyssä.

Myös Williams-reikäseulontamenetelmät aliarvioivat kokopuuhakkeen tehdasseulontasaantoa, Williams 2 -menetelmää lukuun ottamatta kuitenkin vähemmän kuin STFI-menetelmä:

	STFI-seulonnan hyväksytyn jakeen osuuden ja selluhakkeen tehdasseulontasaannon erotus, %-yksikköä	
	Hakesaanto	Hyväksytyn jakeen saanto
Williams 1	– 5,0 – + 7,5	+ 15,9 – + 26,8
Williams 2	– 24,9 – – 16,6	– 4,4 – + 6,6
Williams 3	– 27,1 – – 8,6	– 3,7 – + 15,0

Osuus kuivamassasta, %  
Share of dry weight, %



Kuva 11. Rader-kiekkoseulalla suoritetun tehdasseulonnan vaikutus kokopuuhakkeen biomassan koostumukseen.  
Fig. 11. The effect of mill screening by Rader disc screen on the biomass composition of whole-tree chips.

Taulukko 11. Sellu- ja energiahakkeen saanto kokopuuhakkeen tehdasseulonnassa (Pietilä 1985).

Table 11. Yield of pulp and energy chips in mill screening of whole-tree chips (Pietilä 1985).

Puulaji Tree species	Selluhakejae Pulp chips fraction	Energiahakejae Energy chips fraction		Yhteensä Total
		Karkea jae Big fraction	Hieno jae Fine fraction	
Saanto, % tuoremassasta Yield, % of green weight				
Mänty — Pine	84,3	5,5	10,2	100,0
Mänty — Pine 65% Kuusi — Spruce 15%				
Koivu — Birch 20 %	82,7	5,2	12,1	100,0
Kuusi — Spruce	75,9	7,3	16,8	100,0
Koivu — Birch	84,0	5,9	10,1	100,0
Koivu — Birch 65% Kuusi — Spruce 25%				
Mänty — Pine 10%	78,6	7,1	14,3	100,0

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Williams-reikäseulonta ei anna oikeaa kuvaa metsähakkeen pituusjakaumasta. Hakepalat eivät lajitu pituuden mukaan vaan ovat pituudeltaan keskimäärin reikäseulan halkaisijaa suurempia. Palakoon aliarvio on sitä suurempi mitä epähomogeenisempaa ts. oksaisempaa ja viheraine- ja kuoripitoisempaa hake on. Samoihin johtopäätöksiin on tultu myös aiemmissa tutkimuksissa (luku 13).

STFI-seulonnan tulokset ovat oleellisesti luotettavampia kuin Williams-reikäseulonnan. Varsinkin sulfaattisellun valmistuksen kannalta oleellinen paksuus pysyy hyvin asetetuissa rajoissa. Epähomogeenisimmilla hakeilla pituusrajat ylittyvät kuitenkin selvästi.

Keskimäärin Williams-reikäseulonnalla saatiin 18 %-yksikköä suurempi hyväksytyn jakeen (pituus 6–32 m) osuus kuin STFI-seulonnalla (pituus 7–45 mm, paksuus < 8 mm). Seulomattomalla sahanhakeella vastaava ero on 15–18 %-yksikköä (Juvonen ym. 1987), ja myös muissa kokeissa erot ovat olleet samansuuntaisia. Lukemalla Williams-reikäseulonnan hyväksytyksi jakeeksi vain pituudeltaan 13–32 mm:n tai vastaavasti 6–25 mm:n jakeet päästiin lähelle STFI-seulonnan tuloksia aliarvion ollessa 2 ja vastaavasti 3 %-yksikköä. Yleisesti ottaen ero oli STFI-menetelmään verrattuna kaikilla Williams-seulontamenetelmillä sitä suurempi mitä pienempi oli hyväksytyn ja mitä suurempi ylipaksun jakeen osuus STFI-seulonnassa.

Williams-reikäseulonnan ja STFI-seulonnan hyväksytyn jakeen osuuksien vertailu keskimääräisten %-yksikköerojen perusteella johtaa yksittäistapauksissa kohtuuttomiin virheisiin. Näiden samoin kuin Williams-reikäseulonnan hyväksytyn ja STFI-seulonnan ylipaksun jakeen osuuden välillä on kuitenkin lineaarisia laskennallisia riippuvuussuhteita. Taulukossa 8 (s. 15) esitettyjen regressiomallien avulla on mahdollista muuntaa STFI-seulonnan hyväksytyn jakeen osuudet vastaamaan Williams-reikäseulonnan hyväksytyn jakeen osuuksia. Tarkimpaan tulokseen päästään mallilla, jossa hyväksytyn jakeen osusero määräytyy STFI-seulonnan

ylipaksun jakeen osuuden perusteella. Tätä muotoa olevien mallien heikkoutena on se, ettei STFI-seulonnan hyväksytyn jakeen osuutta voida johtaa suoraan Williams-seulonnan tuloksista. Välillisesti tämä on mahdollista STFI-seulonnan hyväksytyn ja ylipaksun jakeen osuuden regressioon avulla. Tuloksia voidaan hyödyntää eri seulontamenetelmillä tehtyjen metsähakkeen laatuanalyysien vertailussa. Korostettakoon kuitenkin, etteivät reikä- ja rakekulontatulokset voi olla yleispätevästi muutettavissa toiseen, jos hake on riittävän homogeenista.

Metsähakkeen käyttöarvo riippuu dimensoiden lisäksi biomassan koostumuksesta. Viheraine- ja kuoripitoisuus on hienojakeisissa selvästi korkeampi ja runkopuupitoisuus vastaavasti alhaisempi kuin muissa jakeissa. Myös karkeajakeissa runkopuupitoisuus on suhteellisen alhainen suureen palakokoon nähden, koska oksapuupitoisuus on korkea. Erot seulontajakeiden biomassan koostumuksessa ovat itse asiassa erittäin oleellisia kärkeistäen seulontajakeiden käyttöarvoeroja.

Kokopuuhakkeen hankinnan alkaessa Suomessa sulfaattisellun raaka-aineeksi oli tavoitteena saada tehdasseulonnassa vähintään 80 % hakkeesta keittoprosessiin. Käytännössä tavoitteesta on yleensä jääty 10–15 %-yksikköä. Myönteisenä poikkeuksena on TT 1750 LP -laikkahakurilla tehty kokopuuhake (Kuitto 1987). Tähän nähden tässä tutkimuksessa mitatut selluhakkeen saannot, 76–84 %, olivat korkeita. STFI-seulonnan mukainen hyväksytyn jakeen osuus kasvoi seulonnassa kuitenkin vain 7–14 %-yksikköä. Runkopuupitoisuus kasvoi vastaavasti 15–17 %-yksikköä puhtaalla mänty- ja kuusihakkeella, mutta koivu- ja sekahakkeella ei muutosta juuri tapahtunut. Williams-reikäseulonnassa hyväksytyn jakeen osuudet olivat huomattavasti lähempänä todellista selluhakkeen saantoa kuin STFI-seulonnassa. Tehdasseulonnassa jalostukseen saadun hyväksytyn jakeen saannosta STFI-seulonnan hyväksytyn jakeen osuus antoi lievästi ja Williams-reikäseulonnan hyväksytyn jakeen osuus selvästi yliarvioivan kuvan.

## KIRJALLISUUS - REFERENCES

- Borlew, P. & Miller, R. 1970. Chip thickness: A critical dimension in kraft pulping. *Tappi* 53(11): 2107-2111.
- Christie, D. 1987. Chip screening for pulping uniformity. *Tappi Journal* 4: 113-117.
- Colombo, P., Corbetta, D., Pirota, A. & Ruffing, G. 1964. The influence of thickness of chips on pulp properties in kraft cooking. *Svensk Papperstidning* 67(12): 505-511.
- Corson, S.R. 1973. Simulation of refiner mechanical pulp production. *New Zealand Eng. (Mar. 15)*, New Zealand Forest Service. Reprint No. 627. 23 s.
- Dahm, H.P. & Löschbrandt, F. 1960. Fliskvalitet och flishuggning. Summary: Chip quality and chipping. *Norsk Skogindustri* 14(11): 419-426.
- Edberg, U., Engström, L. & Hartler, N. 1971. Standardmetod för sållning av marknadsflis. *Svensk Papperstidning* 71(19): 617-618.
- & Eskilsson, S. 1972. Analyses of pin chips. *Svensk Papperstidning* 75(12): 467-472.
- Gislerud, O. 1974. Heltreutnyttelse. II. 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 Institutt for skogforskning. Skogteknologisk avdeling. Rapport* 6. 59 s.
- Hakkila, P. 1971. Coniferous branches as a raw material source. *Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 62(5). 37 s.
- 1976. Kokopuuhaakkeen lajittelu. *Sitran lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektiin liittyvä matkakertomus*. 39 s.
- , Kalaja, H. & Mäkelä, M. 1975. Kokopuun käyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-tree utilization as a solution to the problem of small-sized trees. *Folia Forestalia* 240. 78 s.
- Hartler, N. 1962. Keittokemikaalien imeytyminen sulfaattikeitossa. Summary: Penetration and diffusion relationships during sulphate cooking. *Paperi ja Puu* 44(7): 365-374.
- & Stade, Y. 1979. Chip specifications for various pulping processes. Teoksessa: Hatton, J.V. (toim.). *Chip Quality Monograph. Pulp and Paper Technology Series No 5: 273-301*, Joint Textbook Committee of the Paper Industry. Vancouver, B.C, Canada.
- Hatton, J.V. 1975. Mill testing of WFPL chip quality procedure. *Canadian Forest Service, Western Forest Product Laboratory, Internal Report VP-X-139*. Vancouver, B.C., Canada.
- 1977a. Quantitative evaluation of pulpwood chip quality. *Tappi* 60(4): 97-100.
- 1977b. The potential of mechanical screening for separating components of chipped softwood branches and tops. *Tappi* 60(9): 141-143.
- 1978. Is TAPPI ready for a new chip-quality testing procedure? *Tappi* 61(11): 71-74.
- 1979. Chip quality procedures. Teoksessa: Hatton, J.V. (toim.) *Chip Quality Monograph, Pulp and Paper Technology Series No 5: 303-323*. Joint Textbook Committee of the Paper Industry. Vancouver, B.C, Canada.
- Juvonen, R., Kotilahti, T., Lahti, J. & Liski, A. 1987. Sahanhakkeen koeseulontamenetelmien vertailu. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto, puun mekaanisen teknologian laboratorio. Tiedonanto 39. 46 s.
- Kanninen, K., Uusvaara, O. & Valonen, P. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittausta ja ominaisuudet. Summary: Measuring and properties of whole-tree raw material. *Folia Forestalia* 403. 53 s.
- Keittolastujen koeseulonta. 1965. Keskuslaboratorion käyttämät analyysimenetelmät n:o 116:65. *Monistete*. 2 s.
- Keys, J.L. & Hatton, J.V. 1971. A proposed chip quality analytical procedure for pulp mills. *Canadian Forest Service, Western Forest Product Laboratory, Internal Report VP-63*, Vancouver, B.C., Canada.
- Klaavu, A. 1985. Haketus ja hakkeen seulonta. *INSKO. Julkaisu* 257-85, Kuitupuun käsittely, XII. 45 s.
- Kuitto, P.-J. 1987. TT 1750 LP -varastohakkuri. *Metsätehon katsaus* 8. 4 s.
- Laanti, J. 1961. Hakkeelle asetettavat vaatimukset seluloosan ja puoliselluloosan valmistuksessa sekä laadun vaikutus hintaan. *Puumies* 5(11): 305-307.
- Lachenal, D. & de Choudens, C. 1986. Chip destructuring improves kraft pulping. Tiivistelmä: Hake-raaka-aineen murskaaminen parantaa sulfaattikeittoa. *Paperi ja Puu* 11: 824-827.
- Lapointe, A. 1979. Domtar rotary drum chip classifier. 65th Annual Meeting Preprints, Canadian Pulp and Paper Association, s. B125.
- Lönnberg, B. 1986. Vedråvara och papper. *Nordiska forskarkurser. Ändamålsenligt utnyttjande av virkeskvaliteten i de nordiska skogarna. Hanaholmens kurscentrum. Helsingfors* 24.-28.02. *Moniste*. 5 s.
- Marss, G.V. 1987. Classifying chips by size automatically. *Tappi Journal* 4: 143-147.
- Metsola, E. 1983. Erilaisilla hakkureilla valmistetun metsähakkeen ominaisuudet. *Metsäteknologian pro gradu-tyo*. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. 72 s.
- Mäkelä, M. 1977. Seulontatuloksia Algot-monikäyttö-hakkurin hakkeesta. Summary: Screening results on the chips made by Algot-multipurpose chipper. *Silva Fennica* 11(2): 97-109.
- Nissi, I. 1984. Bruks 1001 CT -hakkuri. *Metsätehon katsaus* 17. 3 s.
- Paajanen, H. & Merra, A. 1988. Sahanhakkeen laadun parantaminen. *Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Tutkimuksia* 566. 98 s. + 2 liites.
- Paavilainen, V. 1980. Haketus- ja hakkeen laadun vaikutus massan ominaisuuksiin ja laadun määrittäytävät. *Sahamies* 22(2): 34-38.
- Palenius, I. 1970. Tutkimuksia hakkeen laadun vaikutuksesta massan ominaisuuksiin ja laadun määrittäytävät. *Sahamies* 22(2): 34-38.
- Parker, H. Vann. 1988. Purchased chip quality control provides improved pulp quality and yield. *Tappi Journal* 71(12): 79-82.
- Pietilä, J. 1985. Kokopuuhaakkeen ominaisuuksista ja hakepuun korjuussa vaikuttavista tekijöistä. *Puu-teknologian pro gradu-tyo*. Helsingin yliopisto,

- metsäteknologian laitos. 74 s.
- Sahanhake ja paperipuuhanke massan raaka-aineena II. 1972. Haketutkimustoimikunta. Moniste. 16 s.
- Sakamoto, L.S. 1985. The CQI - A chip quality indexing system. TAPPI Pulping Conference. Hollywood, FL, November 3-7. Book 2: 285-288.
- Saukkonen, M. 1972. Hakkeen palakoon ja kokojakautuman määrittämistavat ja niiden tarkkuus. Haketutkimustoimikunta. Moniste. 7 s.
- Sulfaatihakkeen laatuvaatimukset, hinnoittelu ja laadunvalvonta. 1988. Teollisuuden Puuyhdistys (TPY), Suomen Sahanomistajayhdistys (SSY) ja Suomen Sahat r.y. (SS). Moniste. 7 s.
- Suositus kokopuun käyttöön liittyvästä perusterminologiasta. 1976. Suomen metsäteollisuuden keskusliitto. Moniste. 4 s.
- Uusvaara, O. & Heiskanen, V. 1975. Sahanhakkeen valmistus, käsittely, mittaus ja laadunmäärittäminen Suomessa. Summary: Preparation, handling, measurement and quality determination of saw mill chips in Finland. *Folia Forestalia* 234. 28 s.
- & Verkasalo, E. 1987. Metsähakkeen tiiviys ja muita teknisiä ominaisuuksia. Summary: Solid content and other technical properties of forest chips. *Folia Forestalia* 683. 53 s.
- Wahlman, M. 1967. Lastupaksuuden merkitys sulfaatiteitossa ja lastupaksuusmäärittäminen. Summary: The importance of the chip thickness in alkaline pulping and the chip thickness analyse. *Paperi ja Puu* 49(3): 107-110.
- Verkasalo, E. 1987. Rumpuhakkuri TT 97 R. Summary: Drum chipper TT 97 R. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 282. 45 s.
- Vethe, A. & Foslie, M. 1984. Fliskvalitet fra planredusermaskiner. *Norsk Treteknisk Institutt*. 13 s.
- Virkola, N-E. & Janhonen, E. 1984. Massan valmistuksen raaka-aineelle ja hakkeelle asettamat vaatimukset. Helsingin teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto, selluloosateknikan laboratorio. Raportti 54. Sarja C. 39 s.
- , Janhonen, E. & Honkanen, K. 1985. Sellun valmistuksen puuraaka-aineelle asettamat vaatimukset. *INSKO. Julkaisu* 257-85, Kuitupuun käsittely, I.

*Total of 49 references.*

## **Suulliset tiedonannot — Personal communications**

- Kuitto, Pekka J. Metsäteho. 9.4.1988.
- Varhimo, Antero. Oy Keskuslaboratorio — Centrallaboratorium Ab. 5.10.1988.

## **SUMMARY**

### **Test screening methods for evaluation of forest chip quality**

The aim of the study was to determine how to compare the results concerning the length distribution of forest chips obtained through Williams hole screening and the combined length and thickness distribution obtained through STFI screening. Furthermore, equations for comparison were generated. The reliability of the screening results and the biomass composition of the screening fractions were studied in a laboratory. In addition, some practical experiments were made on the effect of mill screening by the two-step Rader disc screen on particle size distribution and biomass composition of whole-tree chips and on the yield of sulphate pulp chips and the validity of the test screenings.

The material comprised 179 forest chip samples, each about 15 dm<sup>3</sup>, used for laboratory screening, and 5 truck loads of forest chips, each about 40 m<sup>3</sup> loose, used for mill screening. The material was collected in 1984-87 in connection with the forest chip studies of the Finnish Forest Research Institute.

The share of accepts in Williams hole screening (length fractions 6-32 mm) was 18 % units greater than in STFI screening (chip length 7-45 mm, chip thickness <8 mm). If only the length fractions of 13-32 mm or alternatively 6-25 mm were accepted in Williams hole screening, the share was 2 or correspondingly 3 % units smaller. As a rule, the difference was the greater the smaller the share of accepts and the higher the share of the overthick fraction was in STFI screening.

A comparison of these shares of accepts shows substantial differences in individual cases. That is why linear regression models were generated for comparison

(table 8).

The most accurate results were reached through the use of regression models, where the difference in the share of accepts was explained by the share of overthick fraction in STFI screening. Although it is not possible to use this method to directly recalculate the share of accepts in Williams hole screening and thereby obtain the corresponding figure for STFI screening, a two-step calculation using a regression model is possible for the purpose of obtaining the share of accepts and overthick fraction in STFI screening.

Generally, forest chip particles are in fact rather longer than the results of Williams hole screening show. The results of STFI screening are considerably more reliable. Chip thickness, a critical factor in sulphate pulping, lies fairly well within the preset limits of accepts.

The share of foliage and bark was very large and the share of stemwood was correspondingly small in fines in both screening methods. The overlarge fraction contained quite a lot of branchwood and, accordingly, less stemwood.

The yield of sulphate pulp chips was 76-84 % in mill screening of whole-tree chips. The share of accepts was 7-14 % units higher after mill screening by STFI screening. The share of stemwood increased by 15-17 % units for pine and spruce chips, but no significant change was found for birch or mixed chips. Increase in the share of accepts by STFI screening was considerably smaller and that by Williams hole screening was only slightly smaller than the true yield of sulphate pulp chips.

# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun tutkimusasema  
*Punkaharju Research Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Experimental Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi, Finland  
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* PL 68  
80101 Joensuu, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 1511

Kannuksen tutkimusasema  
*Kannus Research Station*  
Os. — *Address:* PL 44  
69101 Kannus, Finland  
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



- No 713 Mattila, Eero: Suomen poronhoitoalueen talvilaitumet.  
The winter ranges of the Finnish reindeer management area.
- No 714 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Suomen suometsät vuosina 1951—1984.  
Peatland forests in Finland in 1951—1984.
- No 715 Metsätilastollinen vuosikirja 1987.  
Yearbook of Forest Statistics, 1987.
- No 716 Nevalainen, Seppo & Liukkonen, Kirsi M. H.: Ilman epäpuhtauksien vaikutus biotettiin metsätuhoihin. Kirjallisuuskatsaus.  
The effects of air pollution on biotic forest diseases and pests. A literature review.
- No 717 Mäkinen, Pekka: Metsäkoneurakoitsija yrittäjänä.  
Forest machine contractor as an entrepreneur.
- No 718 Valtanen, Jukka: Korkeiden maiden metsien uudistaminen Oulun läänissä.  
Stand reforestation at elevated sites in Northern Finland.
- No 719 Lääperi, Ari & Löyttyniemi, Kari: Hirvituhot vuosina 1973—1982 perustetuissa männyn viljelytaimikoissa Uudenmaan-Hämeen metsälautakunnan alueella.  
Moose (*Alces alces*) damage in pine plantations established during 1973—1982 in the Uusimaa-Häme Forestry Board District.
- No 720 Hyvärinen, Vesa & Sepponen, Pentti: Kivalon alueen paksusammalkuusikoiden puulaji- ja metsäpalohistoriaa.  
Tree species history and local forest fires in the Kivalo area of Northern Finland.
- No 721 Uotila, Antti: Ilmastotekijöiden vaikutus männynversosyöpätuhoihin.  
The effect of climatic factors on the occurrence of Scleroderris canker.
- No 722 Mikola, Jari & Sepponen, Pentti: Rinteen suunnan ja hakkuun vaikutus Tiilikjärven harjun kasvillisuuteen.  
Effect of exposition and cuttings on the vegetation on Tiilikjärvi esker.
- No 723 Rantonen, Harri: Lumikenkien käytön vaikutus hakkuutyön turvallisuuteen ja työasentoihin.  
Snowshoes in cutting work: effects on work safety and working postures.
- 1989
- No 724 Kaunisto, Seppo: Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella.  
Effect of refertilization on the development of pine stands in an old drainage area.
- No 725 Verkasalo, Erkki: Koeseulontamenetelmät metsähakkeen laadun arvioinnissa.  
Test screening methods for evaluation of forest chip quality.