

# ACTA FORESTALIA FENNICA

226

HERMAN HAKALA

MÄNTYTUKKIEN SAHAUKSEN JÄREYDEN MUKAINEN  
TALOUDELLINEN TULOS JA SIIHEN VAIKUTTAVIA  
TEKIJÖITÄ

FINANCIAL RESULT OF SAWING PINE LOGS AS INFLUENCED  
BY TOP DIAMETER AND OTHER ASSOCIATED FACTORS

THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND  
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Acta Forestalia Fennica was established in 1913 by the Society of Forestry in Finland. It was published by the Society alone until 1989, when it was merged with Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, started in 1917 by the Finnish Forest Research Institute. In the merger, the Society and Forest Research Institute became co-publishers of Acta Forestalia Fennica.

Prior of the merger, 204 volumes had appeared in Acta Forestalia Fennica, and 145 volumes in Communicationes.

---

**EDITORS – TOIMITUS**

**Editors-in-chief** Eeva Korpilahti, the Society of Forestry in Finland  
**Vastaavat toimittajat** Erkki Annila, the Finnish Forest Research Institute  
**Editors – Toimittajat** Seppo Oja, Tommi Salonen

---

**EDITORIAL BOARD – TOIMITUSKUNTA**

<b>The Society of Forestry in Finland</b> Matti Keltikangas, Erkki Annila, Seppo Kellomäki, Antti Korpilahti, and Liisa Saarenmaa.	<b>The Finnish Forest Research Institute</b> Erkki Annila, Pentti Hakkila, Seppo Kauristo, Jari Kuuluvainen, Juha Lappi, and Eino Mälkönen.
---	--

---

**PUBLISHERS – JULKAISIJAT**

<b>The Society of Forestry in Finland</b> <b>Suomen Metsätieteellinen Seura r.y.</b> Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki Tel. +358-0-658 707 Fax: +358-0-1917 619 Telex: 125181 hyfor sf	<b>The Finnish Forest Research Institute</b> <b>Metsätutkimuslaitos</b> Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki Tel. +358-0-857 051 Fax: +358-0-625 308 Telex: 121286 metla sf
---	---

---

**AIM AND SCOPE – TAVOITTEET JA TARKOITUS**

Acta Forestalia Fennica publishes dissertations and other monographs. The series accepts papers with a theoretical approach and/or of international interest. The series covers all fields of forest research.

Acta Forestalia Fennicassa julkaistaan väitöskirjoja ja muita monografiatyyppejä kirjoituksia. Kirjoitusten tulee olla luonteeltaan teoreettisia ja/tai kansainvälisesti merkittäviä. Sarja kattaa metsätutkimuksen kaikki osa-alueet.

---

**SUBSCRIPTIONS AND EXCHANGE – TILAUKSET**

Subscriptions and orders for back issues should be addressed to Academic Bookstore, P.O.Box 128, SF-00101 Helsinki, Finland. Subscription price is FIM 70 per issue. Exchange inquiries should be addressed to the Society of Forestry in Finland.

Tilaukset ja tiedustelut pyydetään osoittamaan Suomen Metsätieteelliselle Seuralle. Tilaushinta Suomeen on 50 mk/numero. Seuran jäsenille sarja lähetetään jäsenmaksua vastaan.

MÄNTYTUKKIEN SAHAUKSEN JÄREYDEN  
MUKAINEN TALOUDELLINEN TULOS JA  
SIIHEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Financial result of sawing pine logs as influenced by top diameter and other associated factors

Herman Hakala

*Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan  
luvalla julkisesti tarkastettavaksi 12. kesäkuuta 1992 klo 12.00  
yliopiston päärakennuksen auditoriossa XII*

Hakala, H. 1992. Mäntytukkien sahausksen järeyden mukainen taloudellinen tulos ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Summary: Financial result of sawing pine logs as influenced by top diameter and other associated factors. Acta Forestalia Fennica 226. 74 p.

Tutkimuksessa tarkastellaan mm. tukin ominaisuuksien (*latvaläpimitta*, pituus, kapeneminen, tilavuus, tiheys ja laatu), asetteen, saannon, sahaustehon, seisokkien, sähköenergian kulutuksen ja käyttöasteen vaikutusta sahausksen kustannuksiin ja tuottoihin sekä niiden välityksellä sahausksen taloudelliseen tulokseen. Lisäksi selvitetään eri tuottojen ja kustannusten merkitys sahausksen taloudellisen tuloksen kannalta. Sahausksen tuotot muodostuvat sahatavara-, hake-, puru- ja kuorituotoista. Sahausksen kustannukset muodostuvat raaka-aine-, pääoma-, työvoima-, energia- ja muista kustannuksista. Sahausksen taloudellinen tulos laskettiin vähentämällä sahausksen tuotoista sahausksen kustannukset. Tulokset laskettiin läpimittaluokittain ja peruslähtökohdaksi oli, että kaikki tuotot ja kustannukset kohdistetaan eri läpimittaluokille.

Tutkimustulokset perustuvat koesahauksiin, joissa sahattiin kahdeksasta eri läpimittaluokasta yhteensä 1606 mäntyttukkiä kehäsahalaitoksen tavanomaisilla asetteilla. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin apuna sahaussimulaattoria.

Tukin järeydellä oli huomattava vaikutus tukin kuorellista tilavuutta kohti laskettuun taloudelliseen tulokseen. Suurimman läpimittaluokan taloudellinen tulos oli 99,1 mk/m<sup>3</sup> pienintä läpimittaluokkaa korkeampi. Tästä erosta selittivät sahausksen tuotot 66,0 mk/m<sup>3</sup> ja sahausksen kustannukset 33,1 mk/m<sup>3</sup>.

Läpimitan lisäksi saanto ja sahausteho vaikuttivat selvästi taloudelliseen tulokseen. Seisokkien vaikutus jäi näitä vähäisemmäksi.

Ainoastaan sahatavartuottojen kohottamisella tai raaka-ainekustannusten alentamisella todettiin voitavan parantaa sahausksen taloudellista tulosta merkittävästi.

Pienimmän sahausksen hyväksytyin latvaläpimitan nostaminen kohotti sahausksen vuositulosta merkittävästi ainoastaan silloin, kun tuotantoaika säilyi ennallaan, eli muiden läpimittaluokkien tukkeja sahattiin vastavasti enemmän. Jos tuotantoaika vähennettiin minimiläpimitan kasvua vastaavalla osuudella, aleni vuositulo pieninä minimiläpimitan muutoksia lukuun ottamatta jyrkästi.

The research work is an examination of the influence of log properties (*diameter*, length, taper, volume, density and quality), sawing pattern, yield, sawing efficacy, stoppages, consumption of electric power and of the capacity in use on sawing costs and revenues and thereby on the financial result of sawing. In addition, this piece of research looks into the significance of various revenues and costs from the point of view of the financial result of sawing. The revenues from sawing are composed of revenues obtained from sawn goods, chips, sawdust and bark. The costs in sawing are made up of raw material costs, capital costs, labour costs, energy costs and other costs. The financial result of sawing was calculated by subtracting the costs of sawing from the revenues of sawing. The results were calculated per diameter class and applying the basic principle of targeting all returns and costs on the different diameter classes.

The results obtained in this study are based on test sawings in connection with which a total of 1606 pine logs representing eight diameter classes were sawn using conventional frame saw sawing patterns. In addition, use was made of a sawing simulator.

Log top diameter had a significant influence on the financial result obtained when calculations were made per log volume o.b. The financial result obtained for the biggest diameter class exceeded that of the smallest diameter class by FIM 99.1 /m<sup>3</sup>. Sawing revenues accounted for FIM 66.0 /m<sup>3</sup> and sawing costs for FIM 33.1 /m<sup>3</sup> of this difference.

In addition to being influenced by the top diameter, the yield and sawing efficacy were observed to have a clear influence on the financial result. The influence of stoppages remained at a lesser level.

The only means of bringing about significant improvements in the financial result of sawing were found to be improvements in the revenues from sawn goods or reductions in the cost of raw material.

Raising the minimum diameter led to a significant improvement in the annual result obtainable from sawing only if the production time remained unchanged; i.e. when correspondingly more logs from the other diameter classes were sawn. If the production time was reduced by an amount corresponding to the increase in minimum diameter, then the annual result fell dramatically except in the case of minor changes in minimum diameter.

Keywords: sawmilling, financial result, cost-benefit analysis, log size.  
FDC 832.1+796

Author's address: Department of Logging and Utilization of Forest Products, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-651-093-0  
ISSN 0001-5636

Tampere 1992. Tammer-Paino Oy

## Sisällys

SYMBOLIT .....	4
1 JOHDANTO .....	6
2 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA RAJAUS .....	7
3 TUTKIMUSMENETELMÄ .....	9
3.1 Menetelmän yleiskuvaus .....	9
3.2 Taloudellisen tuloksen laskeminen .....	10
3.3 Tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavien tekijöiden määrittäminen .....	10
3.4 Sahausksen tuottojen laskeminen ja kohdistaminen läpimittaluokille .....	12
3.5 Sahausksen kustannusten laskeminen ja kohdistaminen läpimittaluokille .....	14
3.6 Sahaussimulaattorin käyttö .....	16
4 AINEISTO .....	17
4.1 Läpimittaluokat ja asetheet .....	17
4.2 Koesahauksissa suoritettut mittaukset .....	17
4.3 Kuvasahalaitoksesta .....	20
5 TUTKIMUSTULOKSET .....	20
5.1 Läpimitan vaikutus tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttaviin tekijöihin .....	20
5.1.1 Tukin ominaisuudet .....	20
5.1.2 Asetekorkeus .....	25
5.1.3 Saanto .....	26
5.1.4 Sahatavaran dimensio- ja laatujaakauma .....	27
5.1.5 Sivutuotteiden osuudet .....	27
5.1.6 Sahausnopeus ja -teho .....	29
5.1.7 Seisokki .....	31
5.1.8 Sähköenergian kulutus .....	33
5.2 Sahausksen tuotot läpimittaluokittain .....	37
5.2.1 Sahatavartuotot .....	37
5.2.2 Sivutuotteiden tuotot .....	38
5.2.3 Kokonaistuotot .....	39
5.3 Sahausksen kustannukset läpimittaluokittain .....	41
5.3.1 Raaka-ainekustannukset .....	41
5.3.2 Työvoimakustannukset .....	42
5.3.3 Pääomakustannukset .....	42
5.3.4 Energiakustannukset .....	43
5.3.5 Muut kustannukset .....	44
5.3.6 Kokonaiskustannukset .....	45
5.4 Sahausksen taloudellinen tulos läpimittaluokittain .....	46
5.5 Tuottojen ja kustannusten vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen .....	46
5.6 Läpimitan, saannon, seisokin ja sahaustehon vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen .....	48
5.7 Puustamaksukyky .....	49
5.8 Eri tekijöiden vaikutus sahausksen vuositulokseen .....	51
5.8.1 Yleistä .....	51
5.8.2 Minimiläpimitta .....	52
5.8.3 Sahatavaran, sivutuotteiden, tukin, työvoiman ja sähkön hinta sekä korko ja saanto .....	54
5.8.4 Sahausteho ja seisokki .....	55
5.8.5 Käyttöaste .....	56
6 TULOSTEN TARKASTELU .....	57
KIRJALLISUUS .....	59
SUMMARY .....	62
LIITTEET .....	65

## Symbolit

AK <sub>jk</sub>	= jakokehän asetekorkeus – <i>height of re-saw sawing pattern</i>
AK <sub>kok</sub>	= kokonaisasetekorkeus – <i>gross height of sawing pattern</i>
AK <sub>pk</sub>	= pelkkakehän asetekorkeus – <i>height of cant frame sawing pattern</i>
AKK <sub>kok</sub>	= kokonaisasetekorkeus tukin kuoretonta tilavuutta kohti – <i>gross sawing pattern height as per log volume u.b.</i>
d	= kuoreton latvaläpimitä – <i>top diameter u.b.</i>
Eh	= sähköenergian hinta – <i>price of electricity</i>
Ek	= sähköenergian kulutus tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>power consumption as per log volume o.b.</i>
EKT	= sähköenergian kulutus tunnissa tehollisena sahausaikana – <i>power consumption per hour of effective sawing time</i>
EnerKus	= energiakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>cost of power as per log volume o.b.</i>
Eo	= sähköenergian kulutusosuus seisokkien aikana tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta – <i>relative proportion of power consumption during stoppages as per effective sawing time power consumption</i>
F	= F-arvo – <i>F-value</i>
Ha	= hakkeen kiintotilavuusosuus tukin kuorellisesta tilavuudesta – <i>proportionate solid volume of chips as per log volume o.b.</i>
Ha <sub>k</sub>	= hakkeen kiintotilavuusosuus tukin kuoretomasta tilavuudesta – <i>proportionate solid volume of chips as per log volume u.b.</i>
HaTuo	= haketuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>chip yield as per log volume o.b.</i>
k	= keskusmuotoluku – <i>centre form factor</i>
Kap	= tukin kapeneminen – <i>log taper</i>
KuoTuo	= kuorituotot tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>bark yield as per log volume o.b.</i>
KäyKus	= käyttöomaisuuskustannus tuntia kohti – <i>fixed assets cost per hour</i>
l	= tukin pituus – <i>log length</i>
Le <sub>sy</sub>	= sydäntavaran märkäleveys – <i>green width of centre goods</i>
MuuKus	= muut kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>other costs as per log volume o.b.</i>
MuuTKus	= muut kustannukset tuntia kohti – <i>other costs per hour</i>
n	= havaintojen lukumäärä – <i>number of observations</i>
Pa <sub>p</sub>	= pelkan märkäpaksuus – <i>green thickness of cant</i>
Pa <sub>sy</sub>	= sydäntavaran märkäpaksuus – <i>green thickness of centre goods</i>
Pa <sub>nst</sub>	= n:nen sivulaudan märkäpaksuus, n = 1,2,3,4 – <i>green thickness of nth side board, n = 1, 2, 3, 4</i>
pl/kl	= kotimaan laadun pintalauta – <i>schaalboard of domestic quality</i>
pl/vl	= vientilaadun pintalauta – <i>schaalboard of export quality</i>
Pu	= purun kiintotilavuusosuus tukin kuorellisesta tilavuudesta – <i>proportionate solid volume of sawdust as per log volume o.b.</i>
Pu <sub>k</sub>	= purun kiintotilavuusosuus tukin kuoretomasta tilavuudesta – <i>proportionate solid volume of sawdust as per log volume u.b.</i>
PuTuo	= purutuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>yields of sawdust as per log volume o.b.</i>
PääKus	= pääomakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>capital costs as per log volume o.b.</i>
r	= korrelaatiokerroin – <i>correlation coefficient</i>
R <sup>2</sup>	= selityssaste – <i>coefficient of determination</i>
Ra	= sahausrako – <i>saw kerf</i>
RaKKus	= raaka-aineen korkokustannus tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>interest cost of raw material as per log volume o.b.</i>
RaaKus	= raaka-ainekustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>raw material costs as per log volume o.b.</i>
s	= keskihajonta – <i>standard deviation</i>
Sa	= saanto tukin kuoretomasta tilavuudesta – <i>yields as per log volume u.b.</i>
SaNop	= sahausnopeus tukkien yhteispituutena – <i>sawing speed in terms of combined length of logs</i>
SaTuo	= sahatavaratuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>yields of sawn goods as per log volume o.b.</i>
Se	= seisokin kesto – <i>duration of stoppage</i>
Sek	= seisokkien kokonaiskesto tunnissa – <i>total duration of stoppages per hour</i>
St	= sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena – <i>sawing efficacy in terms of log volume o.b.</i>
t	= t-arvo – <i>t-value</i>
TaTul	= sahausksen taloudellinen tulos tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>financial sawing result as per log volume o.b.</i>
Ti	= tukin kuiva-tuoretiheys – <i>dry-green density of log</i>
Työkus	= työvoimakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti – <i>labour costs as per log volume o.b.</i>
TyöTKus	= työtuntikustannus – <i>cost of hour of labour</i>
u/s	= unsorted, sahatavaran laatuluokka – <i>unsorted, sawn goods grade class</i>
V <sub>k</sub>	= tukin kuoreton tilavuus – <i>log volume u.b.</i>
$\bar{x}$	= keskiarvo – <i>mean</i>
V	= kvintta, sahatavaran laatuluokka – <i>fifth-grade sawn goods</i>
VI	= seksta, sahatavaran laatuluokka – <i>sixth-grade sawn goods</i>

## Alkusanat

Tutkimuksen koehaukset suoritettiin Botnia Wood Oy:n omistamalla Teuvan sahalla. Koesahusten suorittaminen vaatii aina sahalla erikoisjärjestelyitä ja aiheuttaa häiriötä normaaliille sahaustoiminnalle. Tämän vuoksi haluan suuressi kiittää Botnia Wood Oy:n johtoa, eritoten toimitusjohtaja Ossi Kokkosta, jonka myötämieslisen suhtautumisen vuoksi tutkimus voitiin suorittaa. Tulosityksikönjohtaja Markku Kauppinen sekä sahanhoitajat Pentti Ukkonen ja Tapio Viitasalo ovat vastanneet koesahauksen käytännön järjestelyistä erinomaisella tavalla. Lisäksi haluan kiittää toimistopäällikkö Hillevi Kalevaa saamistani kustannus- ja hintatiedoista.

Sähköenergian kulutus ja sahausksen seisokit mitattiin Jyllinkosken Sähkö Oy:n laitteilla sähkötekniikka Kalevi Antilan johdolla. Hänelle esitän kiitokseni.

Työn kuluessa olen saanut arvokkaita ohjeita

ja neuvoja professori Veijo Heiskaselta sekä dosentti, professori Matti Kärkkäiseltä. Työn ohjaajana on toiminut professori Rihko Haarlaa. Lisäksi työni edistymistä on tukenut professori Esko Mikkonen. Heille kaikille esitän parhaimmat kiitokseni.

Tutkimuksen englanninkieliset osat on kääntänyt metsänhoitaja Erkki Pekkinen. Hänelle lausun kiitokseni.

Lopuksi haluan kiittää Suomen Kulttuurirahastoa, Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiötä, Suomen Metsätieteellistä Seuraa ja Helsingin yliopistoa, jotka myöntämällä apurahoilla ovat mahdollistaneet tutkimuksen suorittamisen.

Teuvalla tammikuussa 1992

Herman Hakala

*Vanhemmilleni*



## 1 Johdanto

Sahateollisuudella on nykyäänkin merkittävä asema teollisuudessamme. Vuonna 1989 sen osuus teollisuustuotannon kokonaisarvosta oli 2,8 % ja viennin kokonaisarvosta 4,4 % (Teollisuuden... 1991). Sahateollisuuden tuotannosta 60–70 % menee vientiin. Koska sahatteollisuudessa tarvitaan vain vähän ulkomaisia tuotannon tekijöitä, se on huomattava nettovaluuttatulojen tuoja. Sahateollisuus on myös tärkeä haja-asutusseutujen työllistäjä ja kantorahatulojen maksaja. Sahateollisuuden osuus teollisuuden kokonaispuunkäytöstä on noin kolmannes, mutta metsänomistajien saamista kantorahatuloista se maksaa yli puolet.

Metsäteollisuuden tuotannon arvosta sahatteollisuuden osuus oli 14,1 % vuonna 1989 (Teollisuuden... 1991). Sahateollisuus on viime vuosina suhteelliselta merkitykseltään taantunut puuta kuiduttavaan teollisuuteen verrattuna. Sekä kuiduttavassa että sahatteollisuudessa tiedetään raaka-aineen ominaisuuksien vaikuttavan lopputuotteen ominaisuuksiin. Erilaisen työstävän ja lopputuotteen koon vuoksi on vaikutus sahatteollisuudessa kuitenkin kuiduttavaa teollisuutta huomattavasti suurempi. Esim. yksi oksa saattaa alentaa koko saheen laadun, vaikka sen osuus on vain muutama prosentti saheen tilavuudesta. Sitä vastoin kuiduttavassa teollisuudessa oksien haitallinen vaikutus rajoittuu oksiin ja niitä ympäröivään puuaineseen, eikä näiden osuus koko raaka-ainemäärästä ole koskaan suuri. Saheiden koolle taas asettaa rajat tukin koko. Kuiduttavassa teollisuudessa ei tuotteen pienen koon vuoksi vastaavaa rajoitusta ole.

Sen lisäksi, että saheiden koko määräytyy tukin järeyden mukaan, on tukin järeys sahatteollisuudessa muutenkin keskeinen tekijä. Järeys vaikuttaa mm. raaka-aineen hinnoitteluun, tukit sahataan erityisesti kehäsahalaitoksissa läpimitan mukaan lajitelluissa tukkiuokissa, ja järeys määrittää käytettävän sahausnopeuden.

Tukin järeys vaikuttaa siten moniin tekijöihin, joiden tiedetään taas vaikuttavan sahausuksen tuottoihin ja kustannuksiin. Järeyden mukainen taloudellinen tulos.

Järeyden mukaisia tuottoja on tarkasteltu mm. seuraavissa tutkimuksissa: Vuoristo (1936), Orvär (1970), Heiskanen (1976), Kärkkäinen (1980 a, b), Kärkkäinen ja Kallinen (1982) sekä Kär-

käinen ja Björklund (1983). Järeyden mukaisia kustannuksia ovat perusteellisesti käsitelleet vain Siimes (1932) ja Vuoristo (1932). Sekä tuottojen että kustannusten riippuvuutta läpimitasta on käsitelty mm. seuraavissa tutkimuksissa: Juvonen (1955), Mäntysahatukkien... (1956), Heiskanen (1966 a, b, c, d, 1968 a, b.), Heiskanen ja Asikainen (1969 a, b), Asikainen ja Heiskanen (1970 a, b), Nylinder (1972), Øy (1974), Hägg (1986) sekä Usenius ym. (1987). Niihin ei kuitenkaan sisälly varsinaisia kustannustutkimuksia lukuun ottamatta Mäntysahatukkien... (1956) selvitystä. Kustannustiedot ovat yleensä hyvin ylimalkaisia, eikä niiden laskutapa selviä lainkaan kaikista tutkimuksista.

Laajimmassakin edellä mainituissa tutkimuksissa on tyydytty ainakin joidenkin kustannusten yleiseen arvioimiseen. Mm. energiakustannusten riippuvuutta läpimitasta ei ole selvitetty. Myöskään läpimittaluokittaisia raaka-ainekustannuksia ei ole niissä mukana, koska tulokset on laskettu pääasiassa järeyden mukaisina tukkien brutto- tai nettoarvoina ja tavoitteena on siis ollut puustamaksukyvyn selvittäminen. Seisokkien vaikutuksesta sahausken taloudelliseen tulokseen ei löytynyt myöskään aiempia tutkimustuloksia, eikä niitä ole yleensä otettu huomioon kokonaispalveltyksissä.

Lisäksi sahatteollisuuden nopean teknisen kehityksen vuoksi ovat edellä mainittujen kustannuksia perusteellisemmin käsitelleiden tutkimusten tulokset vanhentuneita. Suurimpina teknisinä muutoksina sahoilla – vaikkapa 1960-luvun jälkeen – voidaan mainita aiemman manuaalisen särmäyksen suorittaminen nykyisin tietokoneohjatuilla särmäysautomaateilla. Myös aiemmin paljon työvoimaa vaatinut saheiden dimensiolajittelu suoritetaan nykyisin automaattisesti. Sahatavaran kuivauksessa on keinokuiuvas korvannut aiemman, paljon aikaa ja työvoimaa vaatineen lautatarhakuivauksen. Teknologian kehittyessä ovat myös sahausnopeudet kohonneet huomattavasti.

Koska siis tähänastisissa tutkimuksissa ei ole selvitetty kaikkien kustannusten riippuvuutta läpimitasta ja koska tärkeimmät tutkimustulokset ovat teknologisesti vanhentuneista laitteista yli puolen vuosisadan takaa, voidaan pitää erittäin tärkeänä selvittää kaikkien eri kustannusten ja tuottojen riippuvuus läpimitasta tämänhetkisen teknologia- ja hintatason mukaan.

## 2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Kuten johdannossa mainittiin, sahatteollisuudessa vallitsee kiinteä riippuvuus raaka-aineen ja tuotteen ominaisuuksien välillä. Leveää sahatavaraa saadaan vain suurista tukeista. Hyvä oksatonta sahatavara edellyttää oksatonta raaka-ainetta. Myös valmistuskustannukset riippuvat tietenkin monien muiden tekijöiden lisäksi tukin ominaisuuksista, varsinkin sen järeydestä.

Sahateollisuuden kehittämisen kannalta on näin ollen hyvin tärkeää tuntea kaikkien tuottojen ja kustannusten riippuvuus erityisesti tukin ominaisuuksista ja tietää mitkä muut tekijät ovat tältä kannalta tärkeitä sekä kuinka suuri niiden suhteellinen vaikutus on. Lisäksi on tiedettävä, mikä on eri tuottojen ja kustannusten suhteellinen merkitys sahausken taloudellisen tuloksen kannalta. Tällainen tuottojen ja kustannusten yksityiskohtainen tuntemus on kaiken rationaalisen toiminnan perusta. Kun ne tunnetaan, voidaan tutkia eri tekijöiden vaikutusta tuottojen lisäämisessä ja kustannusten alentamisessa ja luoda teoreettisia edellytyksiä sahojen toiminnan jonkinasteiseen tehostamiseen.

Edellä kuvatut tavoitteet ovat esillä olevan tutkimuksen tavoitteita, ja ne voidaan esittää lyhyesti seuraavasti.

1. Tutkia sahausken tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä.
2. Selvittää tukin järeyden (läpimitan) mukaiset tuotot ja kustannukset ja laskea järeyden mukainen taloudellinen tulos sahatavaran valmistuksessa.
3. Tutkia eri tuottojen ja kustannusten merkitys sahausken taloudelliseen tulokseen.
4. Selvittää myös muiden keskeisten tekijöiden kuin läpimitan vaikutus tuottoihin ja kustannuksiin ja siten sahausken taloudelliseen tulokseen.

Koska edellä esitetyistä tavoitteista jo ensimmäiseen sisältyvät teoreettisesti ajatellen kaikki ulkoiset ja sisäiset sahoihin ja sahauskeen liittyvät tekijät, on tutkimusta heti alussa rajoitettava.

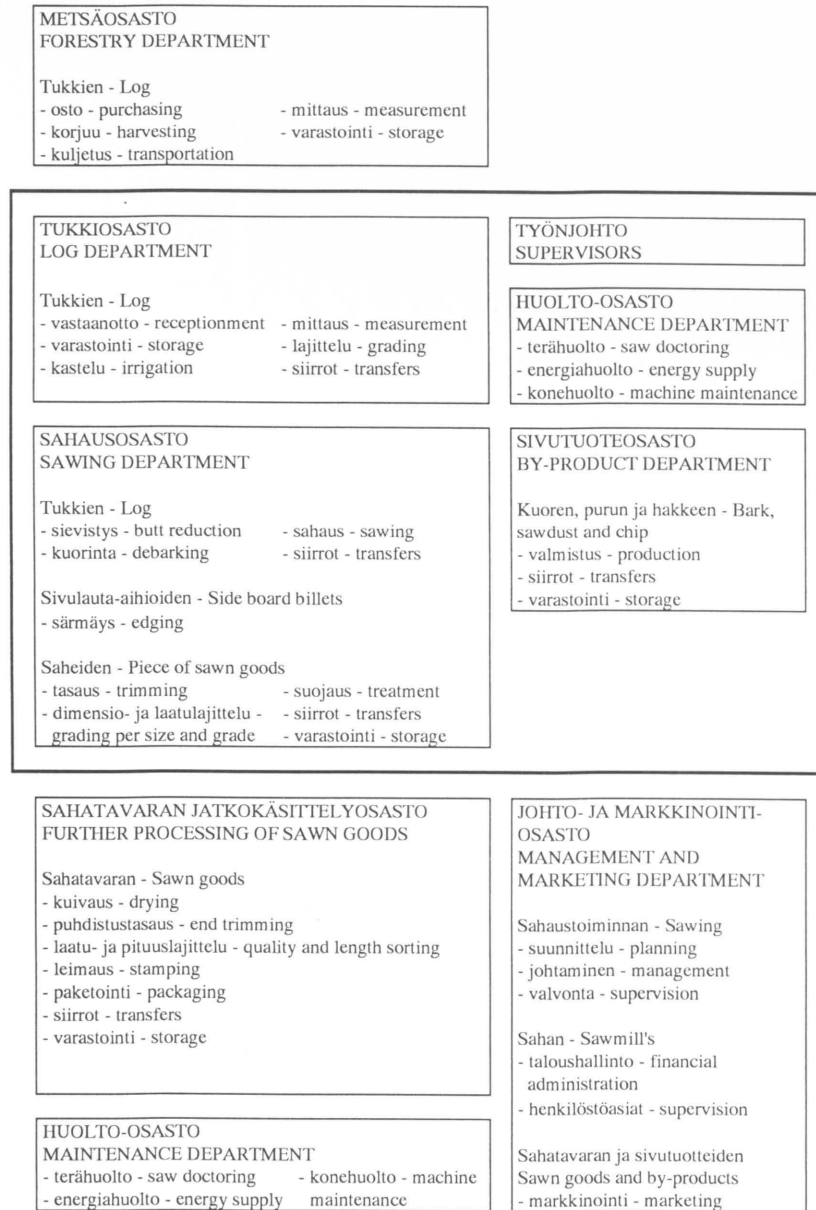
Sahojen tiedetään olevan Suomessa hyvin heterogeenisiä. Valtaosa sahoista on hyvin pieniä, teknologialtaan alkeellisia, yhden tai kahden henkilön sahoja, jotka useimmiten toimivat vain osan vuotta. Toisaalta Suomessa on kapasiteetiltaan ja teknologialtaan aivan Euroopan kärkitasoa olevia sahoja. Sellaisia sahoja, joiden palveluksessa on vähintään 5 henkilöä tai joiden

liikevaihto vastaa 5–10 henkilön yrityksen keskimääräistä liikevaihdon tasoa, oli vuonna 1989 Suomessa 248 kappaletta (Teollisuuden... 1991). Sahojen koon ja teknologian lisäksi eri sahoilla vaihtelevat huomattavasti kustannusrakenne, tuottavuus, kannattavuus jne. (mm. Kunnas 1981, Heino 1988, Vanhala 1988). Lisäksi raaka-aineen koko ja laatu sekä myös sen saatavuus vaihtelevat Suomen eri osien välillä. Sahausken taloudellinen tulos onkin suuresti riippuvainen sahalaitoskohtaisista tekijöistä. Tämän vuoksi tutkimus kohdistettiin vain yhteen sahalaitokseen, joka kuuluu kapasiteetiltaan keskiisuuriin sahoihin ja edustaa teknologialtaan uudenikäistä sahaa. Saha sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla rannikon tuntumassa.

Puulajeista valittiin tarkasteltavaksi mänty, koska myös tukin laadun vaikutus tulokseen haluttiin selvittää. Männyn laadulla on todettu olevan kuusen laatu suurempi vaikutus sahatavaran myyntihintaan (esim. Heiskanen 1976). Onpa viime aikoina suositeltu kuusen laatuluokituksesta luopumista tai viitattu sen tarpeettomuuteen mm. apteerauksen optimoinnissa (Usenius ym. 1987).

Koesahaukset suoritettiin syys- ja lokakuussa, jolloin pystyttiin välttämään tukin jäätyminen vaikutukset tuloksiin. Niitä ovat mm. sahausnopeuden pieneminen, sähköenergian kulutuksen kasvu ja koneiden suurempi rasitus. Edellä olevat tekijät vaikuttavat luonnollisesti sahausken kustannuksia kohottavasti, mutta niiden riippuvuus tukin läpimitasta on ilmeisesti lähes olematon.

Tutkimus kohdistettiin vain varsinaisen sahausprosessin tuottoihin ja kustannuksiin. Tällä tarkoitetaan niitä tuottoja ja kustannuksia, joiden muodostuminen alkaa tukkien vastaanotosta tehtaan portilla ja päättyy tuoreen sahatavaran pakointiin ja pakettien lähettämiseen jatkokäsittelyä varten tehtaan portilla. Tässä prosessin osassa tukkia ja siitä saatuja tuotteita käsitellään pääsääntöisesti tukkien läpimittaluokittain. Myöhemmissä vaiheissa saheita käsitellään niiden dimension mukaan, joten niissä tukin läpimitan vaikutus on epäselvä. Niiden tutkiminen muodostaakin teoreettisesti erilaisen ongelman, joka voidaan luontevasti jättää toisessa yhteydessä tutkittavaksi. Todettakoon kuitenkin, että läpimitan vaikutus sahatavaratuotannon poisjääneessä osassa on ilmeisesti paljon



Kuva 1. Sahatavaran valmistuksen vaiheet tukin ostosta sahatavaran myyntiin. Tutkimuksessa tarkasteltava alue on rajattu viivalla.

Fig. 1. The stages in the production of sawn goods starting from log purchasing and ending in marketing of the finished product. The area examined in this study is outlined in black.

pienempi kuin tutkittavassa osassa tai peräti olematon (Mäntysahatukkien... 1956).

Kuvassa 1 on esitetty sahatavaran valmistuksen vaiheet tukin ostosta sahatavaran myyntiin tutkimuksen kohteena olevan sahalaituksen organisaation mukaan ryhmitettynä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltava osa on rajattu kuvassa erilleen. Tutkimuksessa käsiteltävä osa sijaitsee myös alueellisesti erillään tutkimuksen ulkopuolelle jäävistä sahan toiminnoista. Tutkimus sisältää tukki-, sahaus- ja sivutuoteosaston toiminnot sekä edellä olevia osastoja palvelevan huolto-osaston ja työnjohdon. Tutkimuksen ulkopuolelle jäävät sahatavaran jatkokäsittelyosasto, koko yritystä palveleva johto- ja markkinointiosasto sekä edellä mainittuja osastoja palveleva huolto-osasto.

Varsinaisista sahatavaran valmistuksen osastoiminnoista ovat siis tutkimuksen ulkopuolella kuivaus, puhdistustasaus, laatu- ja pituuslajittelu, leimaus, paketointi ja lähetyvalmiin tavaran

varastointi.

Tutkimuksessa jätetään myös käsittelemättä metsäosaston toiminnot. Tutkimussahalla kuten useimmilla muillakin sahoilla metsäosaston toiminnot hoitaa erillinen yhtiö. Koska raaka-ainekustannukset laskettiin tukkien hintana sahalta, ovat niissä kuitenkin mukana myös metsäosaston kaikki kustannukset keskimääräisinä ja hintasuositussopimuksen mukaisina.

Tutkimuksen ulkopuolelle jäävässä osassa ilman metsäosastoa muodostui tutkimussahalla sahatavaran valmistuskustannuksista vuonna 1989 vain 13,9 %. Poisjäävien tuotteiden merkitys on myös hyvin vähäinen. Ainoastaan kuivattujen saheiden tasauksesta saadaan jonkin verran puru- ja haketuottoja. Tietenkin poisjäävässä osassa saheiden arvo nousee kuivauksen ym. vastaavien toimenpiteiden vuoksi.

Kun tutkimuksessa käytetään termiä sahaus, tarkoitetaan sillä edellä kerrotun mukaisesti rajattua sahatavaran valmistuksen osaa.

### 3 Tutkimusmenetelmä

#### 3.1 Menetelmän yleiskuvaus

Tutkimuksen viitekehys on esitetty kuvassa 2. Kuvan 2 mukaisesti jakautui tutkimusongelman käsittely kolmeen eri tasoon. Ensimmäisessä tasossa ovat kaikki ne tekijät, jotka vaikuttavat sahauskeskuksen tuottoihin ja kustannuksiin. Näistä tekijöistä pyrittiin valitsemaan niin kattava joukko, että kaikki keskeiset sahauskeskuksen tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät tulisivat mukaan. Valittuja tekijöitä tarkasteltiin aluksi erikseen ja sen jälkeen tutkittiin mm. regressioanalyysillä niiden vaikutuksia toisiinsa.

Toisessa tasossa ovat sahauskeskuksen kaikki tuotot ja kustannukset. Eri tuotteita ja kustannuksia tutkittiin ensin erikseen, ja sen jälkeen pyrittiin löytämään niille ensimmäisen tason tekijöistä tärkeimmät selittäjät.

Seuraavana tarkasteltiin kolmannessa tasossa olevaa sahauskeskuksen taloudellista tulosta ja tutkittiin sekä ensimmäisen että toisen tason tekijöiden vaikutus sahauskeskuksen taloudelliseen tulokseen. Kun eri tekijöiden vaikutus oli saatu selville, verrattiin ensimmäisen tason tekijöiden keskinäistä merkitystä ja toisen tason tekijöiden keskinäistä merkitystä sahauskeskuksen taloudellisen tuloksen kannalta.

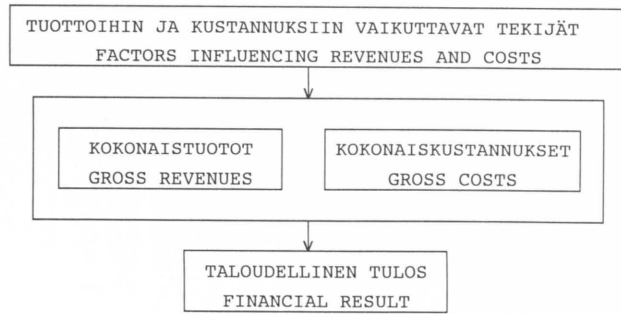
Tuloksia on tarkasteltu pääasiassa läpimittaluokittain. Tulokset ovat tällöin läpimittaluokkien keskimääräisiä tuloksia. Koko aineiston (kaikkien läpimittaluokkien) keskimääräisiä tuloksia tarkasteltaessa on otettava hu-

mioon, että tuloksia ei ole painotettu sahan tukkien todellisen läpimittajakauman mukaisesti, vaan kaikkien läpimittaluokkien tulosten painoarvon oletettiin olevan yhtä suuri. Kun keskimääräinen tukin latvaläpimittaus tutkimussahalla vuonna 1985 oli 184 mm, on se tässä tutkimuksessa 229 mm.

Tutkimuksen loppuosassa on tarkasteltu myös tukkien läpimittaluokittaisilla osuuksilla painotettuja tuloksia. Kuvassa 3 on esitetty mäntytukkien vuoden 1986 läpimittajakauma.

Tuotot ja kustannukset laskettiin tukin kuorellista tilavuutta kohti. Kustannukset laskettiin sekä tehollisen (ilman seisokkeja) että todellisen (seisokit mukana) sahausajan mukaan. Tutkimuksen peruslähtökohdaksi oli, että kaikki tuotot ja kustannukset kohdistetaan erikseen eri läpimittaluokille.

Tutkimustulokset perustuvat vuonna 1985 Botnia Wood Oy:n Teuvan sahalta suoritetuihin koehauskokeisiin. Saha oli silloin juuri uudistettu hyvin nykyaikaiseksi laitokseksi, joten koehausosten tulokset vastaavat nykypäivänäkin uudenikäisen sahan tuloksia. Tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavat hinnat sen sijaan ovat muuttuneet, ja tulokset laskettiin vuoden 1989 keskimääräisillä hintatiedoilla, jotka saatiin sahan tilastoista ja kirjanpidosta. Vuonna 1989 sahaolosuhteissa vallitsi korkeasuhdanne. Koehausosten lisäksi tutkimuksessa käytettiin apuna sahaussimulaattoria.



Kuva 2. Tutkimuksen viitekehys.  
Fig. 2. The frame of reference applied in the study.

### 3.2 Taloudellisen tuloksen laskeminen

Yrityksen teoriassa tai teoreettisessa liiketaloustieteessä on länsimaisen markkinatalouden piirissä tavallisesti tehty se oletus, että yrityksen päämääränä on mahdollisimman hyvä taloudellinen tulos, voiton maksimointi. Taloudellinen tulos määräytyy yrityksen tuottojen ja kustannusten erotuksena ja ilmaisee samalla yrityksen absoluuttisen kannattavuuden (Honko 1985).

Tässä tutkimuksessa laskettiin sahausksen taloudellinen tulos, joka saatiin, kun sahausksen kokonaistuotoista vähennettiin kokonaiskustannukset. Kokonaistuotot muodostuvat sahatavara-, hake-, puru- ja kuorituotoista. Kokonaiskustannukset muodostuvat raaka-aine-, työvoima-, pääoma- ja energiakustannuksista sekä muista kustannuksista. Kaava sahausksen taloudellisen tuloksen laskemiseksi oli seuraava.

$$TaTul = SaTuo + HaTuo + PuTuo + KuoTuo - (RaaKus + TyöKus + EnerKus + PääKus + MuuKus)$$

- jossa TaTul = sahausksen taloudellinen tulos tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 SaTuo = sahatavaruotot tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 HaTuo = haketuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 PuTuo = purutuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 KuoTuo = kuorituotot tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 RaaKus = raaka-ainekustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 TyöKus = työvoimakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 EnerKus = energiakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 PääKus = pääomakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$   
 MuuKus = muut kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti,  $mk/m^3$

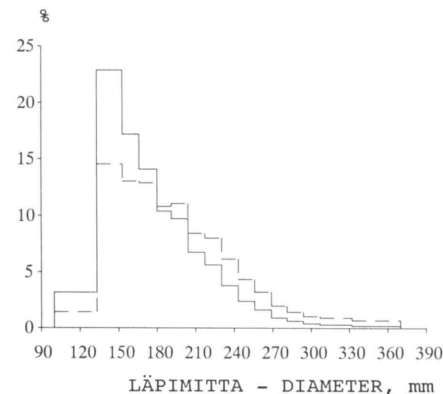
Sahausksen taloudellinen tulos laskettiin jokaiselle läpimittaluokalle erikseen.

### 3.3 Tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavien tekijöiden määrittäminen

Tutkimus rajattiin jo aiemmin koskemaan yhtä sahalaitosta, jolloin mm. konekanta ja -sijoitus sekä työvoiman määrä vakioituivat. Kyseisessä sahalaitoksessa vakioitiin vielä puulaji, sahausajankohta sekä tuottojen ja kustannusten laskennan ajankohta (hintataso ja -suhteet). Vielä jäi jäljelle kuitenkin niin lukuisia määrää tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, ettei niitä kaikkia voitu ottaa tarkasteltaviksi. Tämän vuoksi näistä tekijöistä

#### OSUUS

#### PROPORTION



Kuva 3. Mäntytukkien läpimittajakauma lukumäärän (ehyt viiva) ja tilavuuden (katkoviiva) mukaan.

Fig. 3 Diameter distribution of pine logs in terms of number (solid line) and volume (dotted line).

jöistä pyrittiin valitsemaan tutkittaviksi niin kattava joukko, että kaikki keskeisimmät tekijät tulisivat mukaan. Valinta tehtiin pääasiassa aiempien, johdannossa esitettyjen tutkimusten, Heikinheimon (1964) kyseistä asiaa koskevan laajan selvityksen sekä käytännön sahaajien kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta.

Valitut tekijät olivat: tukin ominaisuudet, asete, saanto, sahatavaran dimensio- ja laatuajakauma, sivutuotteiden osuudet, sahausnopeus ja -teho, seisokit ja sähköenergian kulutus.

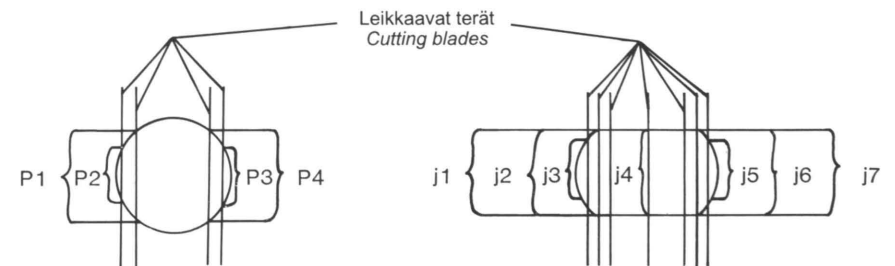
Tukin ominaisuuksista tarkasteltiin *latvaläpimittaa*, *pituuutta*, *kapenemista* (*kartiokkuutta*), *tilavuutta*, *puuaineen tiheyttä* ja *laatua*. Puuaineen tiheyden vaikutuksesta sahaustulokseen ei löydetty aiempia tutkimustuloksia, mutta sillä oletettiin olevan vaikutusta sahausnopeuteen

Asetekorkeus pelkkakehällä

$$Ak_{pk} = 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l Kap)^2 - (0,5 Pa_p + 0,5 Ra)^2)} + 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l Kap)^2 - (0,5 Pa_p + Ra + Pa_{1sl} + 0,5 Ra)^2)} + 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l Kap)^2 - (0,5 Pa_p + Ra + Pa_{1sl} + Ra + Pa_{2sl} + 0,5 Ra)^2)} + 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l Kap)^2 - (0,5 Pa_p + Ra + Pa_{1sl} + Ra + Pa_{2sl} + Ra + Pa_{3sl} + 0,5 Ra)^2)}$$

- jossa Ak<sub>pk</sub> = pelkkakehän asetekorkeus, mm  
 d = kuoreton latvaläpimitta, mm  
 l = tukin pituus, m  
 Kap = tukin kapeneminen, mm/m  
 Ra = sahausrako, mm  
 Pa<sub>p</sub> = pelkan märkäpaksuus, mm  
 Pa<sub>1sl</sub> = ensimmäisen sivulaudan märkäpaksuus, mm  
 Pa<sub>2sl</sub> = toisen sivulaudan märkäpaksuus, mm  
 Pa<sub>3sl</sub> = kolmannen sivulaudan märkäpaksuus, mm

Edellä oleva yhtälö pätee aseteelle, jossa pelkka leikataan symmetrisesti tukin keskipisteen suhteen ja sivulautaihioita sahataan korkeintaan kolme kappaletta tukin molemmilta puolilta. Muissa tapauksissa kaavaan tulee pieniä muutoksia. Koesahausten asetteet täyttivät edellä mainitut ehdot.



Pelkkakehän asetekorkeus =  $p_1 + p_2 + p_3 + p_4$   
Cant frame's saw pattern height

Jakokehän asetekorkeus =  $j_1 + j_2 + j_3 + j_4 + j_5 + j_6 + j_7$   
Re-saw's saw pattern height

Kuva 4. Asetekorkeuden määrittäminen.  
Fig. 4. Definition of saw pattern height.

Asetekorkeus jakokehällä

$$A_{K_{jk}} = L_{e_{sy}} + \min(2 L_{e_{sy}}, 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l \text{ Kap})^2 - (0,5 Ra + Pa_{sy} + 0,5 Ra)^2)}) + \min(2 L_{e_{sy}}, 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l \text{ Kap})^2 - (0,5 Ra + Pa_{sy} + Ra + Pa_{s1} + 0,5 Ra)^2)}) + \min(2 L_{e_{sy}}, 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l \text{ Kap})^2 - (0,5 Ra + Pa_{sy} + Ra + Pa_{s1} + Ra + Pa_{2s1} + 0,5 Ra)^2)}) + \min(2 L_{e_{sy}}, 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l \text{ Kap})^2 - (0,5 Ra + Pa_{sy} + Ra + Pa_{s1} + Ra + Pa_{2s1} + Ra + Pa_{3s1} + 0,5 Ra)^2)}) + \min(2 L_{e_{sy}}, 4 \sqrt{\max(0, (0,5 d + 0,25 l \text{ Kap})^2 - (0,5 Ra + Pa_{sy} + Ra + Pa_{s1} + Ra + Pa_{2s1} + Ra + Pa_{3s1} + Ra + Pa_{4s1} + 0,5 Ra)^2)})$$

Kokonaisasetekorkeus

$$A_{K_{kok}} = A_{K_{pk}} + A_{K_{jk}}$$

joiissa uusien termien merkitys

$A_{K_{jk}}$  = jakokehän asetekorkeus, mm  
 $L_{e_{sy}}$  = sydäntavaran märkäleveys, mm  
 $Pa_{sy}$  = sydäntavaran märkäpaksuus, mm  
 $Pa_{4s1}$  = neljännen sivulaudan märkäpaksuus, mm  
 $A_{K_{kok}}$  = kokonaisasetekorkeus, mm

Jakokehän asetekorkeuden yhtälö pätee aseteelle, jossa saheet leikataan symmetrisesti pelkasta ja yksi terä kulkee pelkan keskilinjaa myöten. Sivulauta-aihoita voidaan sahata korkeintaan neljä kappaletta tukin molemmilta puolin. Koesahausten asetteet täyttivät edellä mainitut ehdot läpimittaluokkaa 180–190 mm lukuun ottamatta. Läpimittaluokassa 180–190 mm sahattiin jakokehällä kolme sydäntavarakappaletta, jolloin terä ei kulkenut pelkan keskipisteen kautta. Tässä luokassa tehtiin jakokehän asetekorkeuden yhtälöön asianmukaiset muutokset.

*Saannolla* tarkoitetaan tässä tutkimuksessa kuivien mittojen mukaan lasketun sahatavaran tilavuuden osuutta tukin kuorellisesta tuoretilavuudesta prosentteina esitetynä. Tukien tuoretilavuus on mitattu sahalla. Joskus on käytetty myös saannosta termiä hyötysuhde (mm. Heiskanen 1966 e). Saantoa yleisemmin käytetty termi on käyttösuhte (tukien tilavuus/sahatavaran tilavuus). Saanto on käyttösuhteen inverssarvo prosentteina esitettyinä.

*Sahatavaran dimensiojakaumalla* tarkoitetaan sahatavaran jakautumista sydäntavaran ja lautojen kesken.

*Sahatavaran laatujauma* esitetään luvussa 5.1.4 sahatavaran jakautumisena täyssärmäisen ja vajaasärmäisen sahatavaran kesken. Sahatavaruotteiden laskennassa käytettiin sahan tilaston mukaista täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran jakautumista u/s-, kvintta-, seksta-, pl/vl- ja pl/kl-laatuhiin.

*Sivutuotteiden osuuksilla* ymmärretään kuoren, purun ja hakkeen kiintotilavuuden osuutta tukin kuorellisesta tilavuudesta. Osuus ilmaistaan prosentteina.

*Sahausnopeus* laskettiin pelkkakehällä minuutissa sahattujen tukkien yhteispituutena. Sahausnopeuteen liittyy läheisesti *saustaeho*, joka ilmaistaan tunnissa sahattujen tukkien kuorellisena tilavuutena. Sahausteho tukkien tilavuutena tuntia kohti saatiin kertomalla sahausnopeus tukin keskimääräisellä pituusyksikön tilavuudella ja tämä tulo luvulla 60. Sahausnopeus ja -teho

laskettiin tehollisen sahausajan yksikköä kohden. Tehollinen sahaus aika saatiin, kun sahaus kokonaisajasta vähennettiin seisokkien osuus.

*Seisokiksi* määritettiin vähintään 15 sekunnin mittainen pysähdys tukkien liikkeessä pelkkakehän läpi.

Sahausten energiankulutuksesta todettiin valtaosan, vuonna 1989 noin 96 % kokonaiskulutuksen arvosta, olevan sähköenergian kulutusta. Loput, siis noin 4 %, kului koneiden polttoaineena. Tämän vuoksi *sähköenergian kulutus* valittiin edustamaan sahaus koko energiankulutusta.

Yhteenvetona edellä olevasta on taulukkoon 1 koottu tässä tutkimuksessa tarkasteltavat ja vakiona pidettävät muuttajat.

### 3.4 Sahausten tuottojen laskeminen ja kohdistaminen läpimittaluokille

*Sahatavaruotteot* laskettiin yhdistämällä sahatavaran määrä-, laatu- ja hintatiedot. Sahatavaran määrä ja jakautuminen täys- ja vajaasärmäiseen sahatavaraan saatiin koesahaustuloksista. Täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran jakautuminen u/s-, kvintta-, seksta-, pl/vl- ja pl/kl-laatuhiin saatiin sahan tilastoista. Saheiden laatu- ja kaudat on esitetty liitteessä I.

Laatujaumiensa suurimpana erona muissa tutkimuksissa havaittiin laatujaumiin on ensinnäkin u/s-laadun alhainen osuus (vrt. esim. Kärkkäinen 1980 a, Useinius ym. 1987). Toiseksi tässä tutkimuksessa u/s-laadun osuus aleni saheiden dimension kasvaessa sekä sydäntavaran laatu- ja sivulautoilla. Kuitenkin mm. Heiskanen (1976) ja Kärkkäinen (1980 a) ovat todenneet, että u/s-laadun osuus lisääntyy saheiden dimension kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että myös tukkien ensimmäisen ja toisen laatualueen osuus lisääntyy läpimitan kasvaessa. Nyt saadut poikkeavat tulokset johtunevat sahan hankinta-alueen tukkien keskimääräistä paljon heikommas- ta laadusta.

Saheen hinta riippuu sen leveydestä, paksuudesta, pituudesta ja laadusta. Dimensioiltaan ja laadultaan saman saheen hinta vaihtelee markkinatilanteen ja myyntikohteen mukaan (esim. Heiskanen 1976). Sahatavaran hinta saatiin sahan tilastoista. Hinnat ovat vuoden 1989 keskimääräisiä vientihintoja, kun sahatavara on toimitettu laivan viereen. Jos jollekin dimensiolle ei ollut vientihintaa, käytettiin sille kotimaan hintaa. Tällaisia olivat vajaasärmälaatuisten sahatavaran hinnat on

Taulukko 1. Tutkimuksessa tarkasteltavat ja vakiona pidettävät sahaus tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät.

Table 1. Factors kept constant and examined in this study as influencing the revenues and costs connected to sawing.

Sahausten tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät Factors influencing sawing revenues and costs	
Tutkittavat – Examined	Vakiona pidettävät – Kept constant
Tukin ominaisuudet – Log properties – latvaläpimitta – top diameter – pituus – length – kapeneminen – taper – tilavuus – volume – tiheys – density – laatu – quality	Sahalaitos – Sawmill – konekanta ja -sijointus – equipment and location – työvoiman määrä – labour force  Sahausajankohta – Time of sawing  Puulaji – Tree species  Hinta-asteikko ja -taso – Price scale and level
Asete(korkeus) – Sawing pattern (height)	
Saanto – Yield	
Sahatavaran dimensio- ja laatujauma – Size and grade distribution of sawn goods	
Sivutuotteiden osuudet – Proportions of by products	
Sahausnopeus ja -teho – Sawing speed and efficacy	
Seisokki – Stoppage	
Sähköenergian kulutus – Consumption of electric power	

esitetty liitteessä I. Sahatavaran hinnoista havaitaan kyseisen vuoden markkinatilanteelle ominainen piirre eli että ainoastaan u/s-laadun saheille maksettiin ns. leveyslisää ja leveyslisän arvot olivat alhaiset. Leveyden hinnankorotusprosentit olivat saheiden eri paksuuksissa seuraavat.

Leveys, mm	Paksuus, mm			44–75
	19	25	32–38	
		Hinnankorotus, %		
200	1,8	1,8	3,0	3,1
225	4,7	4,7	6,1	6,4

Sahatavaran hinnoittelussa ptkäälennus otettiin huomioon siten, että jos pituuksien 1,80–2,40 m osuus josakin dimensiassa oli yli 3 %, laskettiin kaikki sen dimension ptkät 2/3 hintaan.

Koska tutkimus kohdistettiin prosessin osaan, joka päättyi tuoreen sahatavaran ollessa lastattuna autossa sahan portilla, laskettiin sahatavaran hinta sen mukaisesti. Tämän vuoksi edellä mainituista vientihinnoista vähennettiin kaikki laivan vierustan ja sahan portin välillä muodostuvat kiinteät ja muuttuvat kustannukset. Tällaisia ovat mm. sahatavaran jatkokäsittelyosaston sekä jouto- ja markkinointiosaston kustannukset (s. 8, kuva 1). Nämä tekivät yhteensä 139 mk sahatavaran tilavuutta kohti.

*Sivutuotteiden tuotot* laskettiin yhdistämällä niiden hinta- ja määrätiedot. Kuoren määrä arvioitiin Heiskanen ja Rikkosen (1976) tulosten mukaan. Niistä käytettiin Länsi-Suomen alueen mäntytukkien kuoriprosentteja, jotka ilmaisevat maakuljetuksessa keskimäärin sahal- la jäljellä olevan kuoren osuuden. Purun ja hakkeen määrä laskettiin vähentämällä tukin kuorettomasta tilavuudesta sahatavaran tuoremittojen (liite II) mukaan laskettu tilavuus, jolloin saatiin purun ja hakkeen yhteistilavuus. Yhteistilavuus jaettiin purun ja hakkeen kesken tutkimuksessa अपना käytetyn sahaussimulaattorin tulosten mukaisesti.

Läpimittaluokasta 204–216 mm ylöspäin osa hakkeesta oli sievistyshaketta. Sievistyshakkeen osuutta ei ole tässä tutkimuksessa erotettu hakkeen kokonaisosuudesta eikä sen vaikutus sivutuotteiden tuottoihin ole siten tuloksissa mukana. Tarvaisen (1985) tutkimuksen mukaan sievistettävän puuaineen osuus tukin kuorettomasta tilavuudesta vaihteli tätä tutkimusta vastaavissa läpimittaluokissa (luokasta 204–216 mm ylöspäin) 0,6 %:sta 0,8 %:iin. Osuus lisääntyi läpimitan kasvaessa. Koska sievistyshake menee kuoren mukana polttoon eikä sellunkeittoon kuten muu hake, aiheutuu siitä sahalle taloudellista tappiota. Tämän tutkimuksen hakkeen ja kuoren hintojen ja Tarvaisen (1985) tutkimuksen osuuksien mukaan tappio vaihte-



lisi 1,6 mk:sta 2,0 mk:aan tukin kuorellista tilavuutta kohti.

Sivutuotteiden hinnat olivat vuoden 1989 hintoja sahalla ilman lvv:tä. Kuoren hinta oli 10 mk irtotilavuusyksiköltä. Kuoren kiintotilavuus muutettiin irtotilavuudeksi jakamalla se luvulla 0,330. Purun hinta oli 22 mk irtotilavuusyksiköltä. Purun kiintotilavuus muutettiin irtotilavuudeksi käyttäen Uusvaaran (1974) tutkimuksessaan purulle kesäaikana saamaa kiintotilavuusprosenttia 34,7. Hakkeen hinta oli 104 mk irtotilavuusyksiköltä. Hakkeen kiintotilavuus muutettiin irtotilavuudeksi käytämällä Uusvaaran (1972) tutkimuksessaan hakkeelle kesäaikana sahalla saamaa kiintotilavuusprosenttia 37,5.

Koska sahatavaran ja sivutuotteiden läpimittaluokittaiset tilavuudet saatiin selville tarkasti koesahausten ja sahausmullaattorin tuloksista ja niiden hinnat sahan tilastoista, voitiin sahausksen tuotot kohdistaa eri läpimittaluokkiin vaikeuksitta.

### 3.5 Sahauksen kustannusten laskeminen ja kohdistaminen läpimittaluokille

Sahauksen eri kustannusten laskemisessa mutta varsinkin niiden kohdistamisessa läpimittaluokille esiintyy monia vaikeuksia. Useissa tutkimuksissa, esim. Mänty-sahatukkien... (1956), Heiskanen (1966 a), Heiskanen ja Asikainen (1969 a), on todettu, että sahausvaiheen ja sahauksen liittyvien toimintojen työvoimakustannusten riippuvuus tukin latvaläpimitasta on helposti todettavissa mm. sahaustariffien, sahausnopeuksien tai aikatutkimusten avulla. Muiden kustannusten läpimittaluokittainen selvittäminen on vaikeaa ilman sahalla tehtäviä erikoisselvityksiä. Koska tässä tutkimuksessa mitattiin läpimittaluokittainen energiankulutus, voitiin myös energiakustannukset kohdistaa eri läpimittaluokille. Sen sijaan raaka-aine- ja pääomakustannusten sekä muiden kustannusten kohdistaminen läpimittaluokkiin on vaikeata, ja niitä laskettaessa olikin tukeuduttava oletuksiin ja laskennallisiin selvityksiin.

*Työvoimakustannukset* laskettiin työtuntikustannuksen ja sahauksen kuluvan ajan mukaisesti. Sahauksen työtuntikustannukset muodostuvat seuraavien työntekijöiden tuntipalkkakustannuksista sosiaalimaksuineen: tukkien lajittelun suorittava henkilö, kaksi etukuormaajan kuljettajaa, pelkkakehän sahuri, jakekehän sahuri, särmääjä, tyven tasaaja, latvan tasaaja, rimoituksen ja pake-toiminnin 2 työntekijää, asettaja, hakkurin hoitaja, yleinen huoltomies ja työnjohtaja. Edellä mainittujen 14 henkilön työtuntikustannukset olivat yhteensä 812,8 mk. Kunkin läpimittaluokan sahauksen kulunut aika saatiin koesahaustuloksista.

*Energiakustannukset* laskettiin sähköenergian kulutuksen ja sähkön hinnan mukaan. Sähköenergian läpimittaluokittainen kulutus saatiin koesahaustuloksista.

Sähköenergia ostetaan sahan ulkopuolelta ja sen hinta oli 0,27 mk/kWh.

*Raaka-ainekustannukset* laskettiin yhdistämällä raaka-aineen määrä- ja hintatiedot. Raaka-aineen määrä kuskakin läpimittaluokassa saatiin suoraan koesahaustuloksista. Raaka-aineen läpimittaluokittainen hinnoittelu on sen sijaan vaikeaa, koska hintasuositussopimuksessa tiedetään esitetyt raaka-aineen perushintaan tehtävät järeystä riippuvat korjaukset, mutta järeyskorjausker-toimia ei kuitenkaan käytetä tukkihoitaisesti vaan kauppaeräkohtaisesti. Raaka-aine taas ostetaan suurissa erissä, jotka sisältävät moneen eri läpimittaluokkaan kuuluvia tukkeja. Tällaiselle erälle lasketaan keskimääräinen järeys tukin juoksumetriä kohti ja tämän tuloksen mukaisesti tehdään perushintaan hintasuositussopimuksen mukainen järeyskorjaus. Näin lasketulla hinnalla kerrotaan kaikkien tukkien tilavuus niiden läpimitasta riippumatta.

Parhaiten saataisiin selville järeiden vaikutus raaka-ainekustannuksiin keräämällä lukuisia joukko hintatieto- ja tukkikaupoista, joissa tukin keskitilavuus vaihtelisi mahdollisimman paljon, mutta kauppaerät olisivat muussa suhteessa vertailukelpoisia. Tämän aineiston perusteella määritettäisiin sitten yhtälö hinnan muuttumisesta läpimitan kasvaessa. Koska tällaista aineistoa ei ollut kuitenkaan käytettävissä, oletettiin tässä tutkimuksessa, että tukkeja voitaisiin ostaa yksitellen ja järeyskorjauskertoimia käytettäisiin yksittäiselle tukille. Yksittäisten tukkien hintatietojen perusteella muodostuu läpimittaluokan hinta.

Hankintakauden 1988–1989 mäntytukkien järeyskorjaus Etelä-Suomessa on esitetty seuraavassa jaotelmassa (Maataloustuottajain... 1989).

Järeys, m <sup>3</sup> /jm	Järeyskorjaus, mk/m <sup>3</sup>
-0,035	- 6,00
0,036–0,040	- 4,00
0,041–0,045	0
0,046–0,050	+ 4,00
0,051–0,055	+ 6,00
0,055+	+ 8,00

Raaka-aineen perushinta, johon tehtiin edellä olevan jaotelman mukaiset korjaukset, oli sahalla 321 mk tukin kuorellista tilavuutta kohti.

Järeyskorjauskertoimia hintasuositussopimukseen määritettäessä on todennäköisesti tärkeämpänä tavoitteena saada raaka-aineen keskimääräinen hinta tietylle tasolle, kuin että raaka-aineen järeiden mukainen arvo puunjalostusteollisuuden kannalta otettaisiin järeyskorjauskertoimissa huomioon. Kaikkien tutkimusten (mm. Heiskanen ja Asikainen 1969 a) mukaan on näet läpimitan vaikutus tukin luokkien väliseen arvoon paljon suurempi kuin hintasuositussopimuksessa esim. vuonna 1989 määritely 2–14 mk.

Sahauksen *pääomakustannukset* muodostuvat käyttöomaisuuden poistosta ja korosta sekä käyttöpääoman korkokustannuksista. Käyttöomaisuus muodostuu maa-alueesta, rakennuksista, koneista ja kuljetuskalustosta. Maa-alueen vuokra oli niin vähäinen, että se voitiin jättää laskelmista pois. Rakennusten, koneiden ja kuljetuskaluston arvon ja poiston määrittäminen muodostaa oman ongelmansa. Koska kirjanpidollinen käyttöomaisuuden arvo ja poisto poikkeavat niiden todellisista arvoista, käytettiin tässä tutkimuksessa Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton ohjeita käyttöomaisuuden kustannusten laskemiseksi (Sahojen... 1990). Ohjeiden mukaan käyttöomaisuuden hankintahinnat muutetaan indeksillä nykyarvoksi. Kiinteistölle käytetään rakennuskustannusindeksiä ja koneille sekä laitteille tukkuhinta indeksiä. Poistot lasketaan käyttöomaisuuden nykyarvoista tasapoistoina käyttöomaisuuserien arvioitujen pitoaikojen mukaan. Kivisten rakennusten kuten tutkimus-sahalla poisto aika on 40 vuotta, sahakoneiden 15 vuotta ja kevyiden koneiden 10 vuotta. Edellä olevalla menetelmällä päästään lähelle todellisia käyttöomaisuuden kustannuksia. Se ei ota kuitenkaan huomioon koneiden teknistä vanhenemista eikä koneiden jäännösarvoa. Koska edellä esitetyihin puutteiden merkitys käyttöomaisuuden kustannuksiin on vastakkaisuuntainen ja yhteisvaikutukseltaan ilmeisesti hyvin vähäinen ja ne lisäksi voitaisiin ottaa huomioon ainoastaan arvioperusteisina, jätettiin ne tarkastelun ulkopuolelle.

Edellä olevan mukaisesti laskien saatiin käyttöomaisuuden nykyarvoksi 18,7 milj. mk, josta rakennusten osuus oli 8,3 milj. mk, sahakoneiden 8,4 milj. mk ja kevyiden koneiden 2,0 milj. mk. Poiston määräksi saatiin 970 000 mk, josta rakennusten osuus oli 207 500 mk, sahakoneiden 562 800 mk ja kevyiden koneiden 200 000 mk.

Käyttöomaisuuden arvo on luonnollisesti hyvin sahalaitoskohtainen ja vaihtelee paljon eri konekantojen mukaan (esim. Kunnas 1981). Koivuniemi (1988) on määrittänyt tutkimussahaa kapasiteetiltaan vastaavan kehä-sahalaitoksen rakennusten ja koneiden investointikustannukseksi kokonaisuudessaan 49 milj. mk. Tässä tutkimuksessa mukana olevia osastoja vastaava investointikustannus oli 31,2 milj. mk eli lähes 70 % suurempi kuin oli tämän tutkimuksen käyttöomaisuuden arvo.

Käyttöomaisuuden vuosittaista korkokustannusta laskettaessa oletettiin, että sahan käyttöomaisuus on rahoitettu kokonaan vieraalla pääomalla, jonka korko on 12 %. Kun käyttöomaisuuden vuosittaiset korkokustannukset ja poistot laskettiin yhteen ja jaettiin vuotuisella työtuntien määrällä, saatiin käyttöomaisuuden tuntikustannukset. Työntunteja sahalla laskettiin olevan kaksivuorotyössä vuodessa yhteensä 3500 eli saha on toiminnassa läpi vuoden lukuun ottamatta lakimääräisiä ja työehtosopimuksen mukaisia loma-aikoja. Näin laskien käyttöomaisuuden tuntikustannukseksi saatiin 918,2 mk.

Käyttöomaisuuden korkokustannukset muodostuvat raaka-aine-, puolivalmiste- ja tuotevarastojen korkokustannuksista. Prosessissa olevien puolivalmisteiden ja tuotevarastojen määrä oli niin vähäinen, että ne voitiin jättää laskusta pois. Raaka-ainevarastoihin sitoutuneen pääoman korkokustannukset laskettiin läpimittaluokittaisesta raaka-ainevaraston arvosta. Tukkeja arvioitiin olevan sahan varastossa yhden kuukauden sahaukseen. Läpimittaluokittaiset tukkivaraston korkokustannukset laskettiin myös 12 %:n korkokannan mukaan.

Käyttöomaisuuden kustannusten kohdistaminen läpimittaluokille onnistuu helposti, koska tiedetään kunkin läpimittaluokan varaston suuruus ja arvo. Käyttöomaisuuskustannusten kohdistamisen vaikeutena on, että niitä muodostuu ajan kuluessa tuotannosta riippumatta. Käyttöomaisuuskustannukset laskettiinkin sekä tehollisena sahausaikana, joka vastaa sitä tuotantoaika (3500 h), jolloin pääomakustannukset riippuvat tietenkin koesahaussissa todetusta tuotantoajasta.

Läpimittaluokille käyttöomaisuuskustannukset kohdistettiin sahaustehojen suhteessa. Tällöin on oletettu, että sahalaitos on mitoitettu sen mukaan, että myös järeitä tukkeja sahataan käytännössä esiintyviin maksimiläpimittoihin saakka. Jos ennalta tiedettäisiin, että sahataan ainoastaan pieniä tukkeja, sahalaitos suunniteltaisiin sen mukaiseksi ja se olisi hinnaltaan edullisempi. Tutkimuksessa käytetyllä menettelytavalla pienten tukkien kannettavaksi tulee käyttöomaisuuskustannuksista suhteellisesti suuria tukkeja isompi osa. Tuloksiin vaikuttaa myös koneiden poistoajan oletaminen vakioksi, joka saattaa olla ainakin teoriassa virheellinen oletus. Jos sahataan esim. koko ajan pienintä läpimittaluokkaa, koneet sekä kehäsahat että varsinkin särmäsahat kestävät todennäköisesti kauemmin kuin sahattaessa suurinta luokkaa. Edellä esitettyjen tekijöiden vaikutusta tuloksiin ei voitu kuitenkaan selvittää.

On tietenkin mahdollista ja mahdollisesti perusteltuaakin, että pääomakustannukset tai ainakin osa niistä katsottaisiin tukin läpimitasta riippumattomiksi. Tällaisia voisivat olla kaikki muut paitsi raaka-ainevaraston korkokustannukset.

*Muut kustannukset* muodostuvat sahauksen tarveainekustannuksista esim. teräkustannuksista, ulkopuolisten huolto- ja korjauskustannuksista sekä ulkopuolisten suorittamista sahan toiminnoista. Tutkimussahalla ulkopuolinen yrittäjä hoitaa tukkien siirrot tukkilajittelijaan ja tukkilajittelijalta sahan sisäänsyöttöpöydälle. Lisäksi muihin kustannuksiin laskettiin vakuutus- ja edustuskustannukset sekä muut vastaavat kustannukset. Osa muista kustannuksista, kuten vakuutus-kustannukset, on vastaavalla tavalla kuin käyttöomaisuuskustannukset ajasta eikä tuotannosta riippuvia. Myös muut kustannukset on laskettu sekä tehollisen että todellisen sahausajan mukaan.

Muiden kustannusten vuotuisiksi yhteissummaksi saatiin 1,5 milj. mk, joka jaettiin työtuntimäärällä (3500 h) ja saatiin muiden kustannusten tuntikustannukseksi 424,4 mk.

Läpimittaluokille muut kustannukset kohdistettiin sahaustehojen suhteessa. Tällöin tuloksiin saattaa vaikuttaa mm. sahausksen tarveaineiden kulutuksen olettamisen vakioiksi kaikissa läpimittaluokissa. Todennäköisesti kuitenkin esim. teräkustannukset ovat pienten läpimittaluokkien sahauskassa alhaisemmat kuin suurten. Eroa ei voitu selvittää.

Yhteenvedonä edellä olevasta on taulukossa 2 esitetty eri kustannusten laskemiseen tarvittavat hintatiedot.

### 3.6 Sahaussimulaattorin käyttö

Tunnettua on, että koesahaukset ovat kustannuksiltaan kalliita suorittaa ja niistä aiheutuu aina häiriötä normaaliin sahaustoiminnalle. Siitä syystä tämänkin tutkimuksen koesahauksissa voitiin käyttää kussakin läpimittaluokassa vain yhtä asetetta. Koska kuitenkin yleensä sahaustoiminnassa käytetään samassa läpimittaluokassa useita eri asetteita ja aiempien tutkimusten perusteella tiedetään asetteen suuri merkitys erityisesti saantoon ja sahaustuottoihin, tutkittiin muiden asetteiden vaikutusta sahauskseen simulointiohjelmalla. Simulointiohjelmaa ovat valmistaneet mm. Radab International Oy SIM-sahaussimulaattorin (SIM... 1979) ja Usenius (1980). Tässä tutkimuksessa käytettiin Helsingin yliopiston käytössä olevaa SIM-sahaussimulaattoria.

SIM-sahaussimulaattori on tietokoneohjelmisto, joka matemaattisesti jäljittelee sahausprosessia. Laskenta suoritetaan olettamalla tukki säännölliseksi katkaistuksi kartioksi, joka keskiarvoisesti kuvaa edustamaansa läpimitteen ja laatuluokkaa.

Lähtötiedot koostuvat raaka-ainetta, varsinaista sahausprosessia ja valmista sahatavaraa koskevista tiedoista. Raaka-aineesta annetaan seuraavat tiedot: tukkien läpimittajakauma, laatujaakauma, keskipituus, kapeneminen, kuoren määrä. Sahausprosessista määritetään sahaus- ja särmäystapa; sahausrako eri koneyksiköillä; sahatavaran nimellis- ja märkämitat; asetteet; hakkeen, purun ja kuoren kiintoaineosuudet ja hinnat. Sahatavarasta anne-

taan seuraavat tiedot: sydäntavara-, täyssärmäläuta- ja vajaasärmäläutalaatujen nimet ja määritteet; vajaasärmäläutojen dimensiot ja laadut; lautaleveyksien välinen hintaporras lautapaksuuskittaus; sydäntavaran sekä täyssärmäläuta- ja vajaasärmäläutalaatujen laatujaakumat, saantoprosentit sekä hinnat.

Sahauksessa tapahtuvat virheet otetaan huomioon eri sahakoneyksiköillä keskimääräisinä pieleensahauskasina ja -asetuksina. Sahatavaran tasausvirheet vaikuttavat simuloinnin lopputulokseen saantoprosenttien kautta.

Laskenta jakautuu seuraaviin verrattain itsenäisiin vaiheisiin: saanto-, arvo- ja yhdistelylaskenta.

Saanto- ja arvostelun suorittaan ns. tiheissä läpimittaluokissa, joihin jokainen sahattava läpimittaluokka jaetaan. Näin saadaan simulointitulokset mahdollisimman tarkaksi erityisesti sivulautojen osalta. Tiheitä luokkia voi olla sahattavaa läpimittaluokkaa kohti korkeintaan 11 kappaletta sekä kaksi mittausvirheluokkaa sahausluokkien molemmissa päissä. Simulointitulokset vastaavat luonnollisesti sitä paremmin todellisen sahauskseen tuloksia, mitä enemmän tiheitä luokkia käytetään. Koesahaukset jaettiin tiheisiin luokkiin käyttäen niiden maksimimäärää, jolloin tiheän luokan laajuudeksi tuli 1–3 mm. Mittausvirheluokkien ääriluokat sisältävät kuitenkin kaikki tiettyä läpimittaa suuremmat tai pienemmät tukit.

Saantolaskenta selvittää lähtöarvojen mukaisesti jokaiselle tiheälle ja mittausvirheluokalle sahaustuloksen tietyllä aseteella. Sivulautojen särmäysvalinta tehdään joko annetun leveyskohtaisen arvoasteikon (= hintaporras) tai dimension ja sahatavaraa laatu- ja hintatiedon perusteella. Tässä tutkimuksessa käytettiin jälkimmäistä tapaa. Saantolaskenta suoritetaan kullekin syntyvälle saheelle laaduittain ottaen huomioon sahausvirheiden vaikutuksen ja täyssärmämääritteet.

Sivutuotteista purumäärä lasketaan kertomalla kunkin saheen terän sahauspinnan ala sahausraolla. Hakkeen määrä saadaan vähentämällä tukin kuoretomasta tilavuudesta sahatavaran tuoretilavuus ja purun määrä. Kuoren määrä lasketaan kuoriprosenttien perusteella.

Arvolaskenta hinnoittelee saantolaskennan tulosten perusteella sahatavaran ja sivutuotteet niiden todellisilla hinnoilla ottaen huomioon dimensioitaitset laatujaakuma-

ja saantoprosentit. Lisäksi lasketaan ja hinnoitellaan ahauspatkät.

Yhdistelylaskenta kokoa arvostelun tiheiden läpimittaluokkien tulokset koskemaan tiettyä sahausläpimittaluokkaa. Mittausvirheluokkien painoksi sijoitetaan ko. mittausvirheprosentti sellaisenaan ja jäljelle jäävä prosenttimäärä jaetaan sahattavalle läpimittaluokalle tiheiden luokkien osuuksien suhteessa. Näin prosentit vastaavat yhdessä tukkilajittelijan lokerossa olevien tukkien jakaumaa.

Yhdistelylaskennan tuloksena saadaan jokaisesta sahattavasta läpimittaluokasta seuraavat tiedot: tukkiluokka, tukin pituus, tukin tilavuus, tukin laatu, pelkan leveys, sydäntavarakappaleiden paksuudet, pelkkakehän sivulautojen paksuudet, jakekehän sivulautojen paksuudet, sahatavaran määrä ja arvo dimensioitain ja laaduittain, sivutuotteiden määrät ja arvot, saanto, tukkien kulutus, käyttösuhte ja sahauskseen kokonaistuotto.

Ensimmäinen vaihe sahaussimulaattorin käytössä on lähtöarvojen määrittäminen. Valtaosa lähtötiedoista kuitenkin raaka-aine- ja sahatavaratiedot saatiin koesahauksista. Sahausprosessitiedot taas saatiin pääosin tutkimussahan yleisiedoista. Simuloinnin lähtötiedoista sahatavaran nimellis- ja tuoremitat on esitetty liitteessä II.

Lähtötiedoista oli kuitenkin osa määrittävä erikseen. Tällaisia lähtötietoja olivat pieleensasetusarvot, pie-

leensahausravot ja sivulautojen saantoprosentit. Näille lähtötiedoille etsittiin kokeilemalla eri arvoja sellaiset arvot, että sahaussimulaattorin tulostama sahatavaran kokonaismäärä sekä sydäntavaran, täyssärmä- ja vajaasärmäsivulautojen määrä erikseen poikkesivat mahdollisimman vähän koesahauksista. Muuttujien vaihteluvälit muodostettiin käytännön sahaustoiminnassa tehtyjen havaintojen perusteella. Kun sahaussimulaattorin tulostus saatiin koesahauksista vastaavaksi, otettiin se vertailuajojen lähtökohdaksi. Koska siis sahaussimulaattorin lähtöarvot säädettiin sellaisiksi, että simuloinnin tulokset vastasivat koesahauksen tuloksia, vältettiin tällä useissa tutkimuksissa (esim. Heiskanen 1976) todettu sahaussimulaattorin laskema liian korkea saanto ja sahaustuotto.

Kun eri asetteiden edullisuutta tutkittiin simuloinnilla, tehtiin seuraavat oletukset. Sydäntavaran oletettiin olevan täyssärmäistä sahatavaraa ja sydäntavarakappaleita voitavan sahata jakekehällä 2–4 kappaletta. Sivulauta-asetteissa oli edellytyksenä, että paksumpi sivulauta ei voinut sijaita kapeamman ulkopuolella. Sivulautoja voitiin sahata pelkkakehällä korkeintaan 3 ja jakekehällä 4 kappaletta. Sydäntavaran asetevaihtoehtoina olivat ne dimensiot, joille liitteessä I on esitetty laatujaakumat ja hinnat. Sivulautojen paksuusvaihtoehdot aseteissa olivat 19 ja 25 mm.

## 4 Aineisto

### 4.1 Läpimittaluokat ja asetteet

Koesahausten läpimittaluokat valittiin siten, että läpimittale saatiin mahdollisimman suuri vaihtelu. Tukkeja sahattiin kahdeksasta eri läpimittaluokasta. Jokaisen läpimittaluokan valmiiksi lajitelluista tukkikasista valittiin satunnaisotannalla noin 200 määntyttyä koesahaukseen. Kaikkiaan tukkeja sahattiin 1606 kappaletta. Asetteina käytettiin sahan tavanomaisia asetteita. Valitut läpimittaluokat, tukkien lukumäärät ja kunkin läpimittaluokan asete on esitetty taulukossa 3.

### 4.2 Koesahauksissa suoritettavat mittaukset

Koesahaukset suoritettiin ensin kuorimossa, min- kä jälkeen ne siirrettiin takaisin lajitellulaitokseen, jossa niistä mitattiin Elmes 8080 tukkimittarilla minimiläpimittaa, pituus, kapeneminen ja tilavuus.

Tukkimittari mittaa lasersäteellä tukin läpimitan kolmesta eri suunnasta, jotka sijaitsevat toi-

siinsa nähden kuvan 5 mukaisesti. Kun tukki liikkuu tukkimittarin läpi, saadaan läpimittatuloja yhteensä 105 kappaletta sekunnissa. Tukkimittaria ohjaava tietokone tulostaa näyttöön sekä rekisteröi mm:n tarkkuudella pienimmän läpimitan kaikista mittaussuunnista. Laitteen rakenteesta johtuen läpimittatiedot jäävät saamatta tukin molemmista päistä 13,5 cm:n matkalta.

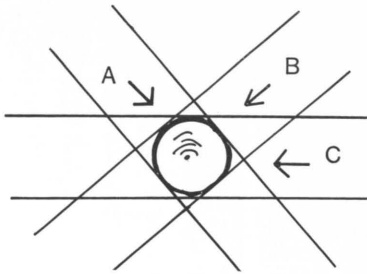
Tukin pituus mitataan valokennojen avulla perustuen tukkimittarin läpi liikuvan ketjukuljettimen nopeuteen. Tukin pituus tulostuu näyttöön ja se rekisteröityy 1 cm:n tarkkuudella.

Tukin tilavuuden tietokone laskee jakamalla sen noin 30 cm:n mittaisiin paloihin. Palojen tilavuus lasketaan katkaistuna kartiona. Palojen päiden läpimittoina käytetään kyseisen palan ja edellisen tai seuraavan palan minimiläpimittaa riippuen tukin kulkusuunnasta. Minimiläpimittaa lasketaan peräkkäisistä A ja B mittaussuunnista saatavien mittojen keskiarvon miniminä kyseisen palan matkalla. Mittauksen ulkopuolelle jäävien päätyjen tilavuus lasketaan lieriöinä, joiden läpimittoina käytetään mittauksen alkamis-

Taulukko 2. Kustannusten laskemisessa käytetyt hintatiedot.  
Table 2. Price data applied in calculating costs.

Kustannustieto – Cost data	Hinta – Price
Raaka-aineen perushinta – Raw material basic price	321,0 mk/m <sup>3</sup> – (FIM/m <sup>3</sup> )
Työtuntikustannukset – Cost of labour per hour	812,8 mk/h – (FIM/h)
Käyttömateriaalin karkotuskustannus ja poisto – Interest costs of fixed assets and deprec.	918,2 mk/h – (FIM/h)
Tukkipuun perusarvo – Basic value of log storage	321,0 mk/m <sup>3</sup> – (FIM/m <sup>3</sup> )
Muut tuntikustannukset – Other hourly costs	424,4 mk/h – (FIM/h)
Sähköenergian hinta – Price of electric power	0,27 mk/kWh – (FIM/kWh)





Kuva 5. Tukin läpimitan mittaussuunnat.  
Fig. 5. Measurement directions for log diameter.

ja päättymishetkellä saatavia läpimittoja. Tukin kokonaistilavuuteen päästään laskemalla palojen tilavuudet yhteen. Tilavuus rekisteröityy kuutiometrin tuhannesosan tarkkuudella.

Tukin kapeneminen lasketaan 3 metriä latvas- ta olevan läpimitan ja latvaläpimitan erotuksena pituusyksikköä kohti. Läpimittoina käytetään samoja minimikeskiarvoja kuin tilavuuden mit- tauksessakin. Kapeneminen saadaan millimet- rin kymmenesosan tarkkuudella metriä kohti. Jos kapenemisen arvo ei ole 0–33,3 mm/m, ei sitä hyväksytä. Näin jäävät vikojen mahdolli- sesti aiheuttamat virheelliset tulokset pois. Tu- lostusvirheen vuoksi jäivät läpimittaluokan 256– 268 mm ja osittain läpimittaluokan 281–293 mm kapenemistulokset saamatta. Näille tukeille laskettiin kapeneminen tällä sivulla esitetyllä yhtälöllä. Yhtälöstä ratkaistiin tällöin kapene- minen. Yhtälössä tarvittava latvaläpimitta las- kettiin olettaen sen olevan yhtä etäällä tukkimit- tarilla todetusta minimiläpimitasta, kuin saman läpimittaluokan latvaläpimitat tai viereisten luok-

kien (läpimittaluokka 256–268 mm) latvaläpi- mitat olivat keskimäärin.

Tukkimittarin mittauksen tarkkuus testattiin muovisella koetukilla, jolloin havaittiin sen an- tavan liian pieniä tuloksia. Tämän vuoksi en- simmäisen tarkasteltavan läpimittaluokan (204– 216 mm) tukit mitattiin sekä tukkimittarilla että manuaalisesti.

Tukkimittarilla saatiin pituudesta keskimää- rin 0,749 % ja tilavuudesta keskimäärin 5,188 % pienempi tulos kuin manuaalisesti mitattuna. Myös latvaläpimitat olivat pienempiä, mutta to- dellista eroa ei voitu määrittää, koska tukkimit- tarilla mitattiin minimiläpimitta ja manuaalises- ti keskimääräinen latvaläpimitta.

Koska muovisella koetukilla saadut tulokset vastasivat edellä mainittuja manuaalisesti mitat- tuja tuloksia, voitiin eroja pitää mittarin virhee- nä. Sen vuoksi korjattiin tukkimittarin tulokset pituudesta ja tilavuudesta edellä olevilla arvoil- la.

Koska todellista minimiläpimittaa ei voitu määrittää, laskettiin tukille keskimääräinen lat- valäpimitta yhtälöllä, joka on johdettu katkais- tun kartion tilavuuden kaavasta ja jossa tukin tyvilaajentuman vaikutus on otettu huomioon käyttämällä keskusmuotolukua. Keskusmuoto- lukuna käytettiin Laasasenahon ja Sevolan (1972) tutkimuksessa määnylle saatua arvoa 1,037. Yhtälö oli seuraavanlainen.

$$d = 2 \sqrt{\frac{V_k \cdot 10^6}{\pi \cdot k \cdot l}} - 0,5 \text{ Kap } l$$

jossa d = kuoreton latvaläpimitta, mm  
 $V_k$  = tukin kuoreton tilavuus, m<sup>3</sup>  
 k = keskusmuotoluku  
 l = tukin pituus, m  
 Kap = tukin kapeneminen, mm/m

Taulukko 3. Valitut läpimittaluokat, niissä sahattujen koetukien kappalemäärät sekä käytetyt asetteet pelkka- ja jakokehällä.

Table 3. The diameter classes selected, the numbers of test logs sawn per diameter class, and the sawing patterns applied in the cant saw and re-saw.

Läpimittaluokka, mm Diameter class, mm	Tukit, kpl Logs, n	Pelkkakehän asete, mm Sawing pattern/ Cant saw, mm	Jakokehän asete, mm Sawing pattern/ Re-saw, mm
133–152	205	19–100–19	19–38–38–19
153–165	185	19–115–19	19–38–38–19
180–190	225	19–115–19	19–38–38–38–19
204–216	200	19–19–115–19–19	19–75–75–19
230–242	224	25–150–25	19–19–75–75–19–19
256–268	179	25–175–25	19–25–75–75–25–19
281–293	186	25–200–25	19–25–75–75–25–19
307–331	202	25–225–25	19–25–25–75–75–25–25–19
Yht.– Total	1606		

Jokaisesta tukista määritettiin silmävaraisesti laatu- luokka. Laatuiluokitus perustui pääasiassa Heis- kasen ja Siimeksen (1959) esittämiin lajittelu- ohjeisiin. Kolmannen luokan minimivaatimukset olivat tosin ns. Järvi-Suomen laatuvaatimuksia, jotka oli sovittu käytettäväksi v. 1985 hintasuo- situssopimuksessa (Maataloustuottajain... 1985). Todettakoon kuitenkin, että v. 1987 hintasuo- situssopimuksessa sahatukien vähimmäislaatu- vaatimuksia kiristettiin sahateollisuuden toivo- musten mukaisesti (Maataloustuottajain... 1987). Ne herättivät kuitenkin vastustusta met- sänomistajien keskuudessa, ja seuraavana vuon- na vaatimuksia lievennettiin. Tästä johtuu, että kolmannen ja neljännen luokan keskeinen ja- kauma ei vastaa täysin nykytilannetta. Luokituksessa tukit jaettiin kolmeen laatu- luokkaan 1, 2 ja 3. Tukit, jotka eivät täyttäneet kol- mannen luokan minimivaatimuksia, merkittiin tukiluokkaan 4. Luokituskaavio on esitetty liitteessä III.

Lisäksi määritettiin tukin puuaineen tiheys. Tiheyden määrittämistä varten valittiin jokaisen läpimittaluokan sahauskeskustan yhteydessä satunnai- sesti otannalla 25 kappaletta sydäntavarasta pois lei- kattuja latva- ja tyvipaloja. Latva- ja tyvipala eivät olleet samasta sydäntavaran ahiosta. La- boratoriossa latva- ja tyvipaloista valmistettiin säännöllisen muotoiset koekappaleet, jolloin niis- tä myös poistettiin mahdolliset viat. Koekappa- leiden leveys ja paksuus riippuivat kulloisesta- kin sydäntavara-asetteesta. Pituus vaihteli 30 mm:stä 400 mm:iin. Koekappaleita liotettiin ve- siastiassa vähintään yksi vuorokausi. Sen jäl-

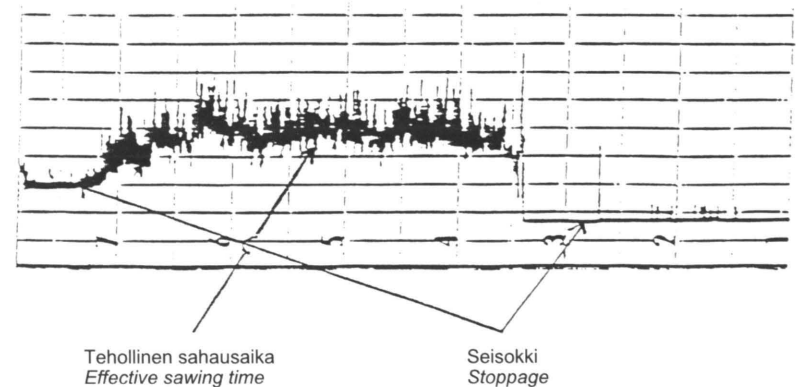
keen niiden tilavuus mitattiin stereometrisesti, ne kuivattiin absoluuttisen kuiviksi, punnittiin ja laskettiin kuiva-tuoretiheys. Tukin tiheys las- kettiin latva- ja tyvipalan tiheyden keskiarvona.

Koesahauksissa mitattiin kunkin läpimittaluok- kan sahauskeskustan kokonaisaika. Lisäksi mitattiin seisokkien lukumäärä ja kesto. Kun kokonaissahausajasta vähennettiin seisokkien yhteiskesto pois, saatiin tehollinen sahausaika. Seisokit laskettiin pelkkakehään kytketyn sähköpiirturin tulostuksesta. Aineiston laajentami- seksi tarkasteltiin aiempien seitsemän läpimitta- luokan (ei luokka 230–242 mm) lisäksi seuraava- via viittä läpimittaluokkaa: 166–179 mm, 191– 203 mm, 217–229 mm, 243–255 mm ja 294– 306 mm. Kaikkiaan seisokkeja oli 103 kpl.

Lisäksi koesahausausten aikana mitattiin sähkö- energian kokonaiskulutus (pätöteho) ajan funk- tion Metracord LNP-piirturilla. Piirturin tulos- tamalta käyrältä laskettiin sähköenergian kulu- tus tehollisen sahausajan ja seisokin aikana. Esi- merkki piirturin tulostamasta käyrästä on esitet- ty kuvassa 6.

Jokaisesta saheesta mitattiin paksuus, leveys ja pituus. Dimensiomittoina käytettiin nimelli- siä kuivamittoja. Tasauksessa saheet katkottiin 30 cm:n jaon mukaisiin mittoihin 1,8 m:stä läht- tien, minkä mukaisesti pituudet mitattiin. Sydäntavara mitattiin manuaalisesti, mutta laut- ojen mitat saatiin särmäystä ohjaavan tietoko- neen tulostuksesta.

Kuten jo aiemmin on mainittu, saheen laatu- luokaksi määritettiin sahausosastossa joko va- jaasärmäinen tai täyssärmäinen luokka. Kaikki



Kuva 6. Esimerkki sähköpiirturin tulostamasta käyrästä läpimittaluokan 204–216 mm sahauskes- kusta 204–216 mm.

sydäntavara-aihiot tasattiin koesahauksissa täys-särmäiseksi sahataraksiksi ja myöhemmin, sahatavaran jatkokäsittely yhteydessä, siitä erotettiin laatuluokat u/s, kvintta ja seksta. Sivulautaihiosta särmättiin leveyttä 100 mm myös vaajasärmäiseksi. Vajaasärmäiset sivulaudat lajiteltiin myöhemmin laatuluokkiin pl/vl ja pl/kl. Muuten sivulautojen laatuluokat olivat vastavat kuin sydäntavaralla.

### 4.3 Kuvaus sahalaiteksesta

Botnia Wood Oy:n omistama saha sijaitsee Teuvan kunnan keskustassa Etelä-Pohjanmaalla. Kehäsahalaitos, jonka on suunnitellut suunnittelutoimisto Usko Foudila Ky, valmistui keväällä 1983. Vuoden 1984 syksyllä tapahtuneen omistajan vaihdoksen jälkeen sahalaiteksen konekanta ja konesijoitusta parannettiin sekä tuotantopolitiikkaa muutettiin. Pyrkimyksenä oli sa-

hausnopeuden selvä kohottaminen sekä sahaus-tuloksen parantaminen. Uudella konekannalla sahaaminen aloitettiin vuoden 1985 alussa. Sahan vuosikapasiteetti yhdessä vuorossa sahattuna on noin 35 000 m<sup>3</sup> sahatavaraa.

Raakapuun hankinnasta vastaa Metsäliitto. Valtaosaltaan raakapuun hankitaan Teuvan lähi-alueilta. Raaka-aineen keskimääräinen kuljetusmatka on noin 60 km. Vuonna 1989 raaka-aineen kokonaishankintamäärä oli 136 602 m<sup>3</sup>, josta mäntytukkien osuus oli 53 % ja kuusitukkien 47 %.

Sahalaiteksen pääkoneina ovat kaksi kehäsaaha. Sahalaitos on suunniteltu siten, että tukin enimmäispituus saa olla 5,8 m. Suurin tukin tyviläpimitta, joka voidaan sahata, on 510 mm. Saha toimii kahdessa vuorossa ja työntekijöitä on 28.

Tarkempi kuvaus sahan konekannasta ja -sijoituksesta on esitetty liitteessä IV.

## 5 Tutkimustulokset

### 5.1 Läpimitan vaikutus tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttaviin tekijöihin

#### 5.1.1 Tukin ominaisuudet

Koesahauksien ominaisuuksista kuoreton latvaläpimitta, pituus ja kapeneminen on esitetty taulukossa 4. Taulukon mukaan suurimman läpimittaluokan keskimääräinen kuoreton latvaläpimitta oli 323 mm. Se on 115,3 % korkeampi kuin pienimmän luokan läpimitta 150 mm. Keskimäärin tukin kuoreton latvaläpimitta oli 229 mm.

Tukin pituuksissa havaitaan lievää kasvua ( $r = 0,090$ ,  $n = 1606$ ) läpimitan suuretessa. Tukin pituus vaihteli läpimittaluokan 204–216 mm 4,77 m:stä luokan 281–293 mm 4,91 m:iin ja oli keskimäärin 4,84 m.

Tukin kapeneminen aleni ensin läpimitan kasvaessa saavuttaen pienimmän arvonsa 8,02 mm/m läpimittaluokassa 204–216 mm. Tämän jälkeen kapeneminen kohosi ja saavutti suurimman arvonsa 12,24 mm/m isoimmassa läpimittaluokassa. Vastaava kapenemisen muutos läpimitan kasvaessa on todettu myös muissa tutkimuksissa (Heiskanen 1970, Kärkkäinen 1980 a, Kärkkäinen ja Salmi 1981). Keskimäärin kapeneminen oli 9,30 mm/m.

Tukin kuoreton tilavuus, joka määräytyy edellä käsiteltyjen ominaisuuksien perusteella, on

esitetty kuvassa 7. Koska tukin tilavuuteen vaikuttavat ominaisuudet, läpimitta, pituus ja kapeneminen, keskimäärin kasvoivat läpimitan suuretessa, lisääntyi tukin tilavuus läpimitan suuretessa vielä niitakin enemmän. Pienimmän läpimittaluokan kuoreton tilavuus oli 0,112 m<sup>3</sup> ja suurimman luokan tilavuus oli 0,495 m<sup>3</sup>. Keskimäärin tukin kuoreton tilavuus oli 0,267 m<sup>3</sup>. Suurin vaikutus tukin tilavuuteen oli läpimittala. Tilavuus korreloi voimakkaasti ( $r = 0,957$ ,  $n = 1606$ ) läpimitan kanssa.

Kuvasta 7 havaitaan, että läpimittaluokan 204–216 mm tukin tilavuus jäi suhteellisesti tarkastellen viereisiä luokkia hieman alemmaksi. Syyinä siihen on kyseisessä luokassa jo aiemmin todettu tukin alhaisin pituus ja kapeneminen.

Tukin kuiva-tuoretiheys on esitetty kuvassa 8. Tukin tiheys lisääntyi keskimäärin läpimitan kasvaessa. Poikkeuksen muodosti luokka 281–293 mm, jossa oli selvästi viereisiä luokkia alempi tiheys. Syytä ei voitu selvittää. Pienin tiheys oli 389 kg/m<sup>3</sup> (luokka 133–152 mm) ja suurin tiheys oli 447 kg/m<sup>3</sup> (luokka 307–331 mm). Keskimäärin tukin kuiva-tuoretiheys oli 422 kg/m<sup>3</sup>.

Läpimitan vaikutusta tukin tiheyteen tutkittiin regressioanalyysillä kuvan 8 tiedoista. Parhaiten tiheyttä selitti seuraava läpimitan suhteen toisen asteen yhtälö.

Taulukko 4. Tukin kuoreton latvaläpimitta, pituus ja kapeneminen läpimittaluokittain.  
Table 4. Top diameter u.b., length and taper per diameter class of logs.

Läpimittaluokka, mm Diameter class, mm	Latvaläpimitta, mm Top diameter, mm		Pituus, m Length, m		Kapeneminen, mm/m Taper, mm/m	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
133–152	150	9,0	4,79	0,52	8,14	3,49
153–165	163	8,6	4,81	0,51	8,35	3,61
180–190	190	8,3	4,89	0,51	8,12	3,91
204–216	213	8,9	4,77	0,45	8,02	3,11
230–242	240	9,8	4,83	0,45	8,76	3,32
256–268	266	10,1	4,89	0,47	9,88	3,61
281–293	290	13,2	4,91	0,49	10,85	4,46
307–331	323	20,0	4,86	0,51	12,24	5,24
Keskim. – Mean	229	11,0	4,84	0,49	9,30	3,84

$$Ti = 307,94 + 0,8215 d - 0,0013 d^2$$

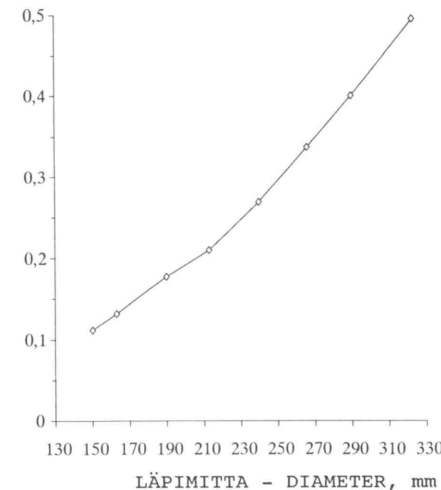
$$(R^2 = 53,89 \% \quad n = 8)$$

jossa Ti = tukin kuiva-tuoretiheys, kg/m<sup>3</sup>  
d = kuoreton latvaläpimitta, mm

Tukkien jakautuminen eri laatuluokkiin on esitetty taulukossa 5. Valtaosa tukeista, keskimäärin 65,3 %, kuului kolmanteen laatuluokkaan. Ensimmäisen laatuluokan osuus oli ainoastaan

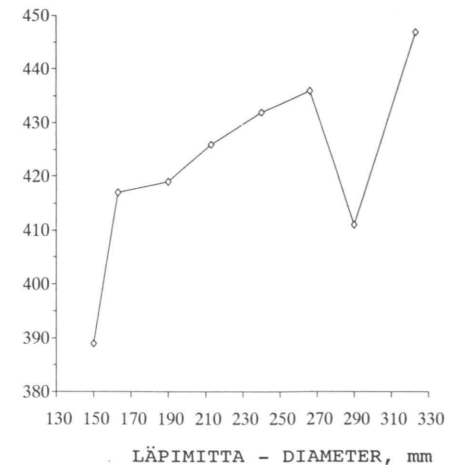
5,3 % ja toisen laatuluokan 22,2 %. Vaikka tukeista oli jo ennakolta sahan toimesta lajiteltu ns. raakitukit pois, niitä oli siitä huolimatta vielä keskimäärin 7,2 %. Ensimmäisen laatuluokan osuudet ovat hyvin alhaisia verrattaessa niitä monien muiden tutkimusten vastaaviin tuloksiin (esim. Heiskanen 1970, Kärkkäinen 1980 a, Usenius ym. 1987). Osittain ero saattaa johtua siitä, että yleensä tukin laatu arvioidaan eikä

TILAVUUS  
VOLUME  
m<sup>3</sup>



Kuva 7. Tukin kuoreton tilavuus läpimitan mukaan.  
Fig. 7. Log volume u.b. as per diameter.

TIHEYS  
DENSITY  
kg/m<sup>3</sup>



Kuva 8. Tukin kuiva-tuoretiheys läpimitan mukaan.  
Fig. 8. Dry-green density of log as per diameter.

Taulukko 5. Tukkiin laatujaakauma läpimittaluokittain.  
Table 5. Quality distribution of logs per diameter class.

Läpimittaluokka, mm Diameter class, mm	Laatuluokka – Quality class								Yht. – Total	
	1		2		3		4			
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
133–152	19	9,3	47	22,9	129	62,9	10	4,9	205	100
153–165	8	4,3	27	14,6	130	70,3	20	0,8	185	100
180–190	2	0,9	36	16,0	162	72,0	25	11,1	225	100
204–216	8	4,0	52	26,0	140	70,0	–	–	200	100
230–242	7	3,1	63	28,1	126	56,3	28	12,5	224	100
256–268	10	5,6	44	24,6	109	60,9	16	8,9	179	100
281–293	12	6,5	36	19,4	131	70,4	7	3,8	186	100
307–331	19	9,4	51	25,2	122	60,4	10	5,0	202	100
Yht. – Total	85	5,3	356	22,2	1049	65,3	116	7,2	1606	100

mitata, jolloin eri laatuluokkien väliset rajat ovat käytännössä liukuvia. Tulos osoittaa kuitenkin sahan hankinta-alueen tukkien keskimääräistä heikomman laadun.

Tarkasteltaessa laatujaakauman muuttumista läpimitan kasvaessa ei havaita ensimmäisen ja toisen laatuluokan osuuden lisääntymistä eikä kolmannen vähenemistä, kuten mm. Heiskasen (1954 a, 1970) ja Kärkkäisen (1980 a) tutkimuksissa on todettu. Eräs syy, jonka todettiin tukkiin laatuolosuhteissa alentavan suurten tukkien ensimmäisen ja toisen laatuluokan osuutta, oli suurten tukkien lenkous ja kierteisyys. Vikana lenkous vaikuttaa kuitenkin enemmän saantoon kuin sahatavaran laatuun. Kierteisyys taas on vika, joka tuli hyvin esille, koska laatu arvioitiin kuorettomista tukeista. Yleensä tukit lajitellaan laadun mukaan kuorellisina, jolloin kierteisyyttä on vaikeampi todeta kuin kuorittuina.

Lenkouden ja kierteisyyden merkitystä suurten tukkien ensimmäisen ja toisen laatuluokan alhaiseen osuuteen tutkittiin laskemalla poikkeako suurten läpimittaluokkien u/s-laatuisten sahatavaran osuus tutkittujen yhteenlasketusta I ja II laatuluokan osuudesta. Tukkiin laatuolosuhteet I ja II on nimittäin määritetty Heiskasen ja Siimeksen (1959) luokituksessa siten, että niistä saatu sahatavara on pääasiallisesti u/s-laatuista. Tukkiin ensimmäisen ja toisen laatuluokan yhteisosuudesta käytetään seuraavassa nimitystä tukkiin u/s-osuus.

Lisäksi laskettiin tukeille ja sahatavaraalle ns. laatuindeksi. Tukkiin laatuindeksi laskettiin kertomalla ensimmäisen laatuluokan tukkien tilavuus luvulla 1, toisen laatuluokan tukkien tilavuus luvulla 2, kolmannen laatuluokan tukkien tilavuus luvulla 3 ja ns. raakittukkiin tilavuus luvulla 4. Näin saadut arvot laskettiin yhteen ja

summa jaettiin tukkiin yhteistilavuudella. Vastaavalla tavalla laskettiin sahatavaraalle laatuindeksi. Tällöin u/s-laatuisten sahatavaran tilavuus kerrottiin luvulla 1, kvinttasahatavaran tilavuus luvulla 2 ja sekstasahatavaran tilavuus luvulla 3. Vajaasärmäinen sahatavara luetaan yleensä sektalaatuun, joten myös sen tilavuus kerrottiin luvulla 3. Laskentatavasta johtuen tukkiin laatuindeksi voi vaihdella yhdestä neljään ja sahatavaran laatuindeksi yhdestä kolmeen. Tukkiin ja sahatavaran läpimittaluokittaiset u/s-osuudet ja laatuindeksit on esitetty taulukossa 6.

Koska tukkiin tulokset koskevat koesahaustukkeja, mutta sahatavaran tulokset taas sahan koko vuoden tuotantoa, voidaan tulosten perusteella tehdä ainoastaan alustavia johtopäätöksiä. Tulosten varmentamiseen tarvittaisiin tukkikohdainen perusteellinen selvitys. Myös laatuindeksin laskemisessa eri laatuluokkien välisen eron määrittäminen yhdeksi yksiköksi on teoreettinen valinta. Jos joidenkin laatuluokkien väliseksi eroksi määritettäisiin esim. kaksi yksikköä, tulokset olisivat tietenkin erilaisia. Tämän tutkimuksen tarpeisiin riittävät kuitenkin edellä selitetyn mukaisesti laskettujen laatuindeksin ja u/s-osuuden tarkastelu.

Taulukosta 6 ilmenee, että kahdessa läpimittaluokassa (153–165 mm ja 180–190 mm) tukkiin u/s-osuus oli sahatavaran u/s-osuutta alempi, mutta muissa läpimittaluokissa korkeampi. U/s-laatuisten tukkiin osuus oli keskimäärin 27,5 % ja u/s-laatuisten sahatavaran osuus oli keskimäärin 20,4 %. Tukkiin noin 7 %-yksikköä korkeampi u/s-osuus johtunee osittain ensimmäisen ja toisen laatuluokan määrittymisestä, jonka mukaan niihin saattaa sisältyä myös kvinttalaatuista tukkeja. Toisaalta myös kolmannen luokan tukeista saadaan jonkin verran u/s-sahata-

Taulukko 6. Tukkiin ja sahatavaran läpimittaluokittaiset u/s-osuudet ja laatuindeksi.  
Table 6. Diameter class specific u/s-proportions and quality indexes for logs and sawn goods.

Läpimittaluokka, mm Diameter class, mm	U/s-osuus, % – U/s-proportion, %		Laatuindeksi – Quality index class	
	Tukit Logs	Sahatavara Sawn goods	Tukit Logs	Sahatavara Sawn goods
133–152	32,1	18,4	2,63	2,30
153–165	19,3	19,7	2,88	2,25
180–190	16,7	20,0	2,94	2,23
204–216	29,6	20,8	2,66	2,19
230–242	31,4	22,2	2,78	2,14
256–268	29,8	22,7	2,74	2,10
281–293	26,7	19,6	2,70	2,16
307–331	34,2	19,4	2,61	2,16
Yht. – Total	27,5	20,4	2,74	2,19

varaa. Osittain syynä tukkiin sahatavaraa korkeampaan u/s-osuuteen lienee sahatavaran lajittelemisen kiristyminen, mikä on ollut trendi koko tämän vuosisadan ajan (Kärkkäinen 1980 a). Suurten tukkiin korkeat u/s-osuudet sahatavaran vastaaviin osuuksiin verrattuna eivät vahvista oletusta, että tukkiin lenkouden ja kierteisyyden vuoksi suurten tukkiin ensimmäisen ja toisen laatuluokan osuus olisi merkittävästi alennunut.

Laatuindeksissä tulee mukaan myös huonojen laatuisten osuuksien vaikutus. Mitä suurempi on laatuindeksin arvo, sitä huonompaa laatua se merkitsee. Taulukosta 6 havaitaan, että sahatavaran laatu lievästi parani läpimitan kasvaessa ( $r = -0,812$ ,  $n = 8$ ). Tukkiin laatuun läpimitan kasvulla oli heikompi vaikutus ( $r = -0,418$ ,  $n = 8$ ). Tämän tuloksen mukaan lengot ja kierteiset mutta muuten hyvälaatuiset tukit ovat saattaneet hieman nostaa suurten tukkiin kolmannen laatuluokan osuutta.

Heiskasen ja Siimeksen (1959) laatuolosuhteiden soveltavuudesta tämän tutkimuksen alueelle (Etelä-Pohjanmaan lähellä rannikko-oleva alue) voidaan edellä olevien tulosten perusteella todeta seuraavaa. Koska tukkiin laatuolosuhteiden tehtävänä on erotella tukit sahatavaran käyttötarkoituksen mukaisesti, on mm. tukkiin, joista saadaan u/s-laatuista sahatavaraa, erilleen saanti erittäin tärkeää. Edellä todettiin tukkiin u/s-osuuden olevan sahatavaran u/s-osuutta selvästi korkeampi (taulukko 6). Tämän mukaan ainakin tukkiin toisen laatuluokan vaatimuksia olisi tutkimussahalla kiristettävä. Myös lenkouden ja kierteisyyden merkitys olisi täsmennettävä. Uusiin laatuolosuhteiden määrittämiseen tarvitaan kuitenkin erilliset laajat koesahaukset. Myös muissa tutkimuksissa on ko. laatuolosuhte-

tusta pidetty vanhentuneena ja korjauksen tarpeessa olevana (mm. Heiskanen 1987, Usenius ym. 1987).

Seuraavana tarkastellaan eri laatuluokkaa olevien tukkiin ominaisuuksia. Taulukossa 7 on esitetty tukkiin laatuolosuhteiden, pituuden ja tilavuuden laadun ja läpimittaluokan mukaan.

Läpimita- ja tilavuustiedoista havaitaan, että ensimmäiseen laatuluokkaan kuuluvat tukit olivat muita järeämpiä. Toisen ja kolmannen laatuluokan tukit eivät paljon eronneet toisistaan ja olivat jopa keskimääräiseltä tilavuudeltaan yhtä suuria. Ero parhaisiin tukkeihin ei ollut kuitenkaan suuri. Vastaavan tuloksen on saanut mm. Kärkkäinen (1980 a). Neljännen laatuluokan tukit olivat järeydeltään lähellä toisen ja kolmannen laatuluokan tukkeja. Syy parhaiden tukkiin muita tukkeja suurempaan järeeyteen on se, että ensimmäisen laatuluokan tukit ovat ensimmäiseen tyvitukkeja (Aro ja Rikonen 1966, Kärkkäinen 1980 a). Tässä tutkimuksessa tyvi- ja muita tukkeja ei eroteltu toisistaan.

Ensimmäisen laatuluokan tukit olivat pisimpiä. Laatuluokan heikeudessa pituudet pienenevät. Myös Kärkkäinen (1980 a) on tutkimuksessaan todennut, ettei tukkiin korkealaatuisuus ilmeisesti johdu siitä, että ne tehtäisiin poikkeuksellisen lyhyiksi. Läpimitan kasvaessa pituudet vaihtelivat epäsäännöllisesti laatuluokkien sisällä.

Tukkiin kapeneminen laatuluokan ja läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 9. Kapenemisen havaitaan kasvavan laadun heikeudessa läpimittaluokkaan 256–268 mm saakka, jonka jälkeen kapenemiset erosivat vain vähän toisistaan. Läpimitan kasvaessa kapeneminen lisääntyi eniten parhaissa tukeissa, sitten toisen laatuluokan tukeissa ja tuskin ollenkaan raakittuissa. Vas-

Taulukko 7. Eri laatuluokkaa olevien tukkien ominaisuuksia läpimittaluokittain.  
Table 7. Diameter class specific presentation of log properties of logs differing in quality class.

Ominaisuus Property	Läpimittaluokka, mm Diameter class, mm	Laatuluokka - Quality class							
		1		2		3		4	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Tukin latvaläpimitta, mm	133-152	153	6,2	151	9,0	149	9,4	151	5,1
	153-165	165	7,1	164	7,3	163	8,4	166	11,8
Log top diameter, mm	180-190	199	9,5	192	8,4	191	8,3	189	8,5
	204-216	215	3,3	214	8,2	213	9,4	-	-
	230-242	238	4,1	239	10,6	240	9,6	243	9,9
	256-268	270	7,5	266	9,3	267	10,8	265	9,5
	281-293	286	11,3	290	11,7	290	13,9	288	10,5
	307-331	331	18,3	318	17,4	324	20,2	322	27,8
	Yht. - Total	232	8,4	229	10,2	230	11,3	232	11,9
Tukin pituus, m	133-152	4,94	0,59	4,81	0,51	4,76	0,50	4,81	0,62
Log length, m	153-165	4,95	0,39	5,10	0,54	4,76	0,48	4,65	0,57
	180-190	4,78	0,24	4,99	0,44	4,87	0,53	4,89	0,46
	204-216	5,05	0,15	4,71	0,40	4,78	0,47	-	-
	230-242	5,09	0,41	4,94	0,42	4,78	0,44	4,66	0,51
	256-268	4,77	0,60	4,98	0,46	4,86	0,46	4,97	0,49
	281-293	5,25	0,42	5,07	0,47	4,86	0,47	4,41	0,51
	307-331	4,89	0,44	4,80	0,45	4,87	0,54	5,05	0,63
	Yht. - Total	4,97	0,41	4,93	0,46	4,82	0,49	4,78	0,54
Tukin kuoreton tilavuus, m <sup>3</sup>	133-152	0,114	0,021	0,111	0,019	0,112	0,019	0,114	0,022
Log volume u.b., m <sup>3</sup>	153-165	0,127	0,015	0,137	0,018	0,130	0,021	0,138	0,022
	180-190	0,181	0,036	0,175	0,023	0,176	0,027	0,186	0,035
	204-216	0,217	0,012	0,206	0,029	0,211	0,030	-	-
	230-242	0,273	0,028	0,270	0,035	0,269	0,038	0,265	0,032
	256-268	0,320	0,045	0,337	0,036	0,337	0,047	0,354	0,060
	281-293	0,422	0,055	0,412	0,058	0,397	0,055	0,358	0,042
	307-331	0,525	0,083	0,476	0,069	0,498	0,084	0,502	0,095
	Yht. - Total	0,272	0,037	0,266	0,036	0,266	0,040	0,274	0,044

taavan tuloksen sai Kärkkäinen (1980 a) eri oksaisuuslaatuluokkaa olevien mäntytukkien latvakapenemiselle.

Edellä on todettu tukin ominaisuuksien jonkin verran vaihtelevan laatuluokkien mukaan, joskin hajonnat olivat suuria eri laatuluokkien sisällä. Mutta pystytäänkö tukkien laatuluokat erottamaan toisistaan niiden ominaisuuksien, läpimitan, pitoisuuden, kapenemisen ja tilavuuden perusteella? Asialla on suuri käytännöllinen merkitys, koska nykyisin on hyvin usealla sahalla automaattiset mittalaitteet, joilla voidaan mitata edellä mainitut tukin ominaisuudet.

Asiaa tutkittiin valikoivalla regressioanalyysillä. Selittäviksi tekijöiksi valittiin tukin latvaläpimitta, pituus, kapeneminen ja tilavuus sekä näiden tekijöiden yhdistykijät. Tulokset on esitetty seuraavassa jaotelmassa, jossa selittävät tekijät on lueteltu siinä järjestyksessä kun ne

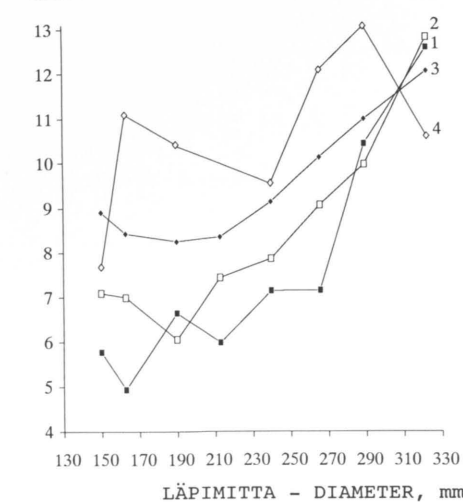
ovat tulleet yhtälöön (poistuneita lukuun ottamatta).

Selittävät: Laatuluokka

Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	1,991		
Kuoret. latvaläpim. d, mm	0,003760	3,74	1,77
Tukin kap. Kap, mm/m	0,06970	7,95	0,37
d-l, mm-m	-0,0003139	-2,15	0,27
Kap-d <sup>2</sup> , (mm/m)-mm <sup>2</sup>	-0,000007409	-5,98	0,31
R <sup>2</sup> = 5,26 %			
F = 22,22 (4, 1601)			

Jaotelmasta havaitaan, että merkittävimmät selittäjät tukin laadun vaihtelulle olivat kapeneminen ja läpimitta. Regression jyrkkyys jäi kuitenkin niin alhaiseksi, että näiden tulosten perus-

#### KAPENEMINEN TAPER mm/m

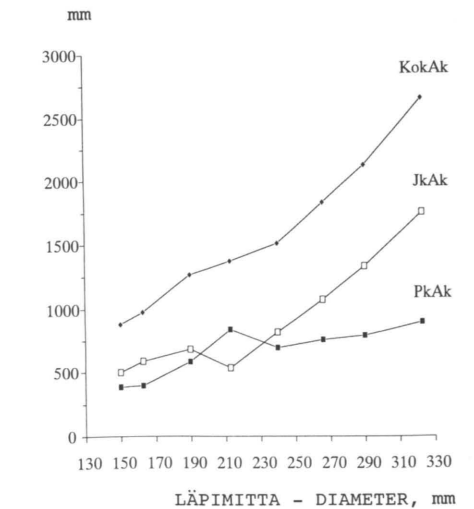


Kuva 9. Eri laatuluokkaa (1...4) olevien tukkien kapeneminen läpimitan mukaan.  
Fig. 9. Taper in logs of various quality classes (1...4) as per diameter.

teella ei yksittäisen tukin laatuluokkaa voitaisi määrittää tukin läpimitan, pitoisuuden, kapenemisen ja tilavuuden mukaan. Vastaavan tuloksen on saanut mm. Kärkkäinen (1980 a). Lähinnä voisi ajatella, että edellä esitetyt tiedot käytettäisiin pitkähkällä aikavälillä tukkien oikean laatuluokituksen valvontaan.

Joissakin tutkimuksissa on kuitenkin todettu kapenemisen osoittavan tukin oksaisuutta aika hyvin (esim. Heinonen 1978, R. Juvonen ja Kotilahti 1985). Ainoa mitattava ominaisuus, joka ilmeisesti korreloi merkittävästi laatuluokan kanssa, on tukin asema. Tyvitukkien laatu on keskimäärin parempi kuin välitukkien, jotka taas ovat latvatukkeja parempia (esim. Heiskanen 1954 a, 1971, Aro ja Rikkinen 1966, Asikainen ja Heiskanen 1970 b, Kärkkäinen 1980 a, Kärkkäinen ja Salmi 1981). Ruotsalaisissa tutkimuksissa mm. Blomqvist ja Nylinder (1988), Nylinder (1990), Johnsson ja Nylinder (1990) ovat todenneet, että tyvikapeneminen ja tukin kyhmyisyys selittävät tukin laatuluokkaa varsin hyvin. Juuri tyvikapenemisen avulla pystyttiin erot-

#### ASETEKORKEUS SAW PATTERN HEIGHT



Kuva 10. Pelkka- (PkAk) ja jakokehän (JkAk) asetekorkeus sekä kokonaisasetekorkeus (KokAk) läpimitan mukaan.  
Fig. 10. Saw pattern height of cant saw (PkAk) and re-saw (JkAk) and gross saw pattern height (KokAk) as per diameter.

telemaan melko hyvin tyvitukit muista tukeista. Lisäksi vuosiluston paksuuden, joka on teoriasa hyvä mitattava tunnus, on todettu selittävän tukin laatua sekä suomalaisissa (esim. Heiskanen 1954 b, 1965, Uusvaara 1985, 1991, Halinen 1985) että ruotsalaisissa (esim. Weslien 1983) tutkimuksissa.

#### 5.1.2 Asetekorkeus

Koesahauksissa käytettyjen asetteiden asetekorkeus pelkka- ja jakokehällä sekä kokonaisasetekorkeus on esitetty kuvassa 10.

Pelkkakehän asetekorkeus kohosi läpimitan kasvaessa pienimmän läpimittaluokan 383 mm:stä suurimman luokan 901 mm:iin ja oli keskimäärin 669 mm. Jakokehällä asetekorkeus kasvoi läpimitan suuretessa vielä enemmän kuin pelkkakehällä pienimmän arvon ollessa 499 mm (luokka 133-152) ja suurimman 1759 mm (luokka 307-331 mm). Keskimäärin jakokehän asetekorkeus oli 912 mm.

Kuvasta 10 havaitaan, että läpimittaluokassa



204–216 mm pelkkakehän asetekorkeus oli jakokehän asetekorkeutta suurempi. Kyseisessä läpimittaluokassa havaitaan lisäksi pelkkakehällä viereisiä luokkia suhteellisesti korkeampi asetekorkeus ja jakokehällä taas viereisiä luokkia suhteellisesti alempi asetekorkeus. Synnä on läpimittaluokassa 204–216 mm käytetty ase (s. 18), jossa pelkan leveys oli viereisten läpimittaluokien pelkan leveyttä suhteellisesti paljon pienempi ja sydäntavara-aihioiden yhteispaksuus taas viereisiä luokkia suhteellisesti suurempi. Jos kyseisessä läpimittaluokassa käytettäisiin esim. asetetta, jolla saatiin tässä läpimittaluokassa korkein saanto (ks. liite V) ja joka on tässä läpimittaluokassa muutenkin yleisesti käytetty, tulisi pelkkakehän asetekorkeudeksi 546 mm ja jakokehän asetekorkeudeksi 770 mm. Tällöin eivät pelkka- eikä jakokehän asetekorkeuksien kuvaajat leikkaisi toisiaan ja niiden arvot olisivat suhteellisesti lähempänä viereisten luokkien arvoja.

Kokonaisasetekorkeus kasvoi pienimmän luokan 882 mm:stä suurimman luokan 2660 mm:iin ja oli keskimäärin 1580 mm.

Läpimitan vaikutusta kokonaisasetekorkeuteen tutkittiin regressioanalyysillä kuvan 10 tiedoista. Parhaiten kokonaisasetekorkeutta selitti läpimitta ensimmäisen asteen muodossa. Yhtälö oli seuraava.

$$Ak_{\text{kok}} = -0,6262 + 0,009620 d \quad (R^2 = 96,73 \% \quad n = 8)$$

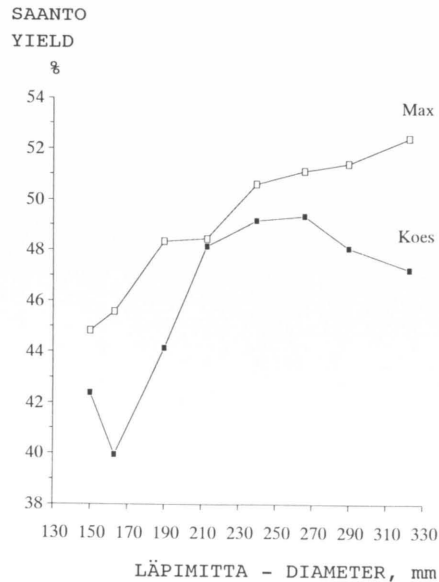
jossa  $Ak_{\text{kok}}$  = kokonaisasetekorkeus, m  
d = kuoreton latvaläpimitta, mm

### 5.1.3 Saanto

Saanto tukin kuorellisesta tilavuudesta läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 11. Samassa kuvassa on esitetty myös simuloinnilla saatujen edullisimpien asetteiden saannot.

Koesahauksen aseteilla saanto tukin kuorellisesta tilavuudesta vaihteli 39,9 %:sta (luokka 153–165 mm) 49,4 %:iin (luokka 256–268 mm) ja oli keskimäärin 46,1 %. Läpimitan kasvaessa havaitaan saannon keskimäärin kohoavan.

Saannon lievä lisääntyminen läpimitan kasvaessa on todettu useissa tutkimuksissa (esim. Heiskanen 1976, Kärkkäinen 1980 a). Sitä vastoin useimmiten ei ole osoitettu saannon alenevan järeimmissä läpimittaluokissa, kuten esillä olevista koesahauksen tuloksista ilmenee. Mainittakoon kuitenkin, että 1950-luvulla Pohjois-Suomessa tehdyissä tutkimuksissa havaittiin saannon pienenevän erittäin järeiden tukkien sa-



Kuva 11. Koesahauksen (Koes) saanto ja edullisimman asetteen (Max) saanto tukin kuorellisesta tilavuudesta läpimitan mukaan.

Fig. 11. Yield in trial sawing (Koes) and yield for most advantageous saw pattern (Max) in terms of log volume o.b. as per diameter.

hauksessa sisävikojen vuoksi (Mäntysahatukien... 1956).

Kuvan 11 mukaan korkein saanto oli jo luokassa 256–268 mm, jonka jälkeen aleneminen ei voi johtua vikaisuudesta vaan mahdollisesti käytettyjen asetteiden suhteellisesta epäedullisuudesta. Asiaa selvitettiin laskemalla sahausmulaattorilla muilla aseteilla saatavat korkeimmat saannot. Kuvasta 11 havaitaan, että edullisimman asetteen saanto lisääntyi tasaisesti läpimitan kasvaessa ja oli jokaisessa läpimittaluokassa koesahauksen saantoa korkeampi. Saantoero koesahauksen verrattuna oli suurimmillaan 5,64 % luokassa 153–165 mm. Kyseisessä läpimittaluokassa ei myöskään enää esiintynyt koesahauksessa todettua saannon selvää alenemista edelliseen luokkaan verrattuna. Luokassa 204–216 mm saantoero oli pienimmillään, 0,30 %, jonka jälkeen saantoero taas lisääntyi läpimitan kasvaessa. Korkein saanto oli keskimäärin 3,05 %-yksikköä koesahauksen saantoa korkeampi. Toiseksi suurimman ja varsinkin suurimman läpimittaluokan isoa saantoeroa koes-

haukseen verrattuna selittää asetteen lisäksi sivulautalevyksien 200 ja 225 mm särmäminen koesahauksissa leveydeksi 175 mm. Toiseksi suurimman läpimittaluokan saantoerosta sivulautalevyksien 200 ja 225 mm puuttuminen selitti 0,42 %-yksikköä ja suurimman luokan 1,86 %-yksikköä.

Liitteessä V on esitetty asetteet, joilla on saatu korkeimmat saannot. Verrattaessa niitä koesahauksen asetteisiin havaitaan, että useissa edullisimmissä aseteissa on sivulautojen lukumäärä varsinkin pelkkakehällä, mutta myös jakokehällä suurempi kuin koesahausaseteissa. Myös pelkan ja sydäntavaran dimensioissa havaitaan eroja.

Kun etsitään syitä saannon muuttumiseen läpimitan kasvaessa, on eräs huomioon otettava tekijä sydäntavaran saantoprosentti. Sydäntavaran saantoprosentilla tarkoitetaan sydäntavarakappaleen pituuden suhdetta sydäntavara-aihion pituuteen. Pituusosuus ilmaistaan prosentteina. Sydäntavara-asetteet valitaan tavallisesti siten, että sydäntavara-aihion pituus on sama kuin tukin pituus. Sydäntavaran saantoprosentit eri laatuojen keskiarvoina olivat koesahauksissa seuraavien jaotelman mukaiset.

Läpimittaluokka, mm	Sydäntavaran saantoprosentti, %
133–152	93
153–165	90
180–190	96
204–216	96
230–242	96
256–268	97
281–293	97
307–331	97

Sydäntavaran saantoprosenttiin vaikuttavat mm. sydäntavaran laatuvaatimukset, täyssärmävaatimukset, sydäntavaran katkominen 30 cm:n jaon mukaisiin mittoihin ja sydäntavara-asetteen ”tiukkuus”. Sydäntavara-asetteen ”tiukkuudella” tarkoitetaan sitä, kuinka varmasti aseteella sydäntavara saadaan täyssärmäisenä. Lisäksi tukin ominaisuuksista mm. lenkouden kasvun ja kapenemisen vähenemisen on todettu alentavan sydäntavaran saantoprosenttia (esim. Ronkanen 1950). Myös tukkien apterausvirheet, esim. latvaan jääneet viat, pienentävät saantoprosenttia (Asikainen 1968, Häggblom ja Pennanen 1983).

Sydäntavaran saantoprosentin vaikutusta läpimittaluokkien väliseen saantoeroon tarkasteltiin suorittamalla simulointiajo, jossa kaikkien läpimittaluokkien sydäntavaran saantoprosentiksi asetettiin 97. Tällöin kolmen suurimman luok-

kan saannot pysyivät luonnollisesti ennallaan, mutta muissa luokissa saantoero vaihteli 0,37 %:sta 2,30 %:iin ja oli keskimäärin 0,96 %. Tarkastelu on hyvin teoreettinen, koska sydäntavaran saantoprosenttien erojen syitä ei tiedetä, mutta tarkastelulla saatiin selville vaikutuksen suuruusluokka.

### 5.1.4 Sahatavaran dimensio- ja laatuajakauma

Sahatavaran jakautuminen sydäntavaran ja lautojen kesken on esitetty kuvassa 12. Samassa kuvassa on esitetty myös täys- ja vajaasärmäisen sahatavaran osuudet.

Valtaosa kunkin läpimittaluokan sahatavaraosasta oli sydäntavaraa. Sydäntavaran osuus lisääntyi ensin läpimitan kasvaessa saavuttaen suurimman arvonsa 72,1 % luokassa 180–190 mm, jonka jälkeen osuus väheni pienimpään arvoon 60,2 % suurimmassa läpimittaluokassa. Sydäntavaran osuus sahatavarasta oli keskimäärin 67,4 %. Lautojen osuudet ovat kääntäen verrannolliset sydäntavaran osuuksiin. Lautojen suurin osuus oli 39,8 % ja pienin osuus 27,9 %. Keskimäärin tukeista saatiin lautatavaraa 32,6 %.

Täyssärmäisen sahatavaran osuus lisääntyi läpimitan kasvaessa (kuva 12). Pienin osuus oli 73,6 % (luokka 133–152 mm) ja suurin osuus 97,4 % (luokka 281–293 mm). Keskimäärin täyssärmäistä sahatavaraa saatiin 87,7 %. Vajaasärmäisen sahatavaran osuudet ovat kääntäen verrannolliset täyssärmäisen sahatavaran osuuksiin. Vajaasärmäisen sahatavaran suurin osuus oli 26,4 % ja pienin osuus 2,6 %. Keskimäärin vajaasärmäistä sahatavaraa saatiin 12,3 %.

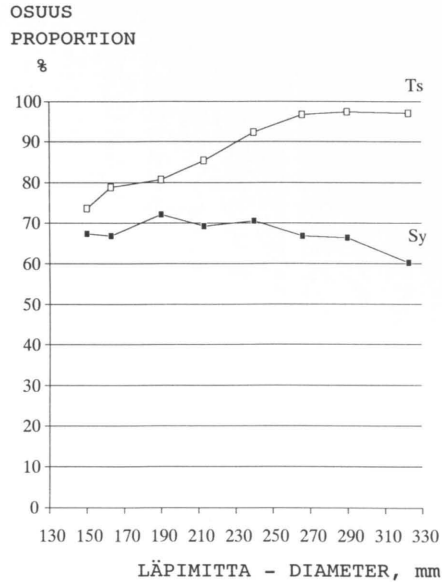
### 5.1.5 Sivutuotteiden osuudet

Sivutuotteiden osuus tukin kuorellisesta tilavuudesta läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 13.

Kuoren osuus tukin kuorellisesta tilavuudesta kasvoi pienimmän läpimittaluokan 5,7 %:sta suurimman luokan 11,8 %:iin ja oli keskimäärin 9,6 %.

Purun kiintotilavuusosuus tukin kuorellisesta tilavuudesta aleni läpimitan kasvaessa 16,1 %:sta (luokka 133–152 mm) 11,0 %:iin (luokat 281–293 mm ja 307–331 mm) ja oli keskimäärin 13,0 %. Myös Heiskanen (1976) on tutkimuksessaan, jossa käytettiin useita asetteita läpimittaluokkaa kohti, todennut purun kiintotilavuusosuuden keskimäärin alenevan tukin läpimitan kasvaessa.

Kuvan 13 tiedoista laskettiin regressioanalyysi-



Kuva 12. Sydäntavaran (Sy) ja täyssärmäisen (Ts) sahatavaran osuudet läpimitan mukaan.  
Fig. 12. Proportions of centre goods (Sy) and square-edged (Ts) sawn goods as per diameter.

sillä yhtälö läpimitan ja purun kiintotilavuusosuuden välille. Parhaiten purun kiintotilavuusosuutta selitti seuraava läpimitan suhteen toisen asteen yhtälö.

$$Pu = 29,35 - 0,1146 d + 0,0001773 d^2$$

( $R^2 = 98,01\%$   $n = 8$ )

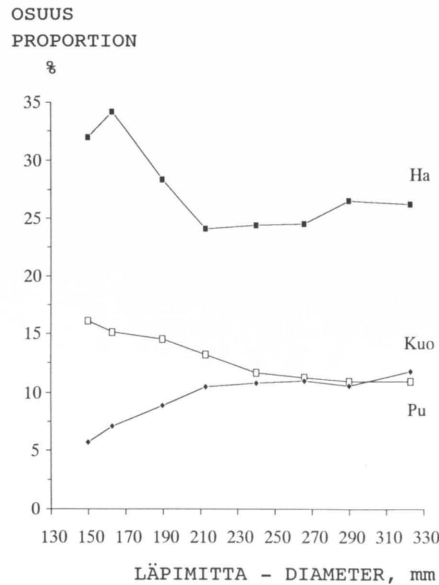
jossa  $Pu$  = purun kiintotilavuusosuus tukin kuorellisesta tilavuudesta, %  
 $d$  = kuoreton latvaläpimita, mm

Hakkeen kiintotilavuusosuus tukin kuorellisesta tilavuudesta vaihteli 24,1 %:sta (luokka 204–216 mm) 34,2 %:iin (luokka 153–165 mm) ja oli keskimäärin 27,5 %.

Vastaavasti kuin purulle laskettiin myös hakkeelle yhtälö, josta selviää läpimitan vaikutus syntyvän hakkeen määrään. Parhaiten hakkeen kiintotilavuusosuutta selitti seuraava läpimitan suhteen toisen asteen yhtälö.

$$Ha = 75,26 - 0,3895 d + 0,0007443 d^2$$

( $R^2 = 82,49\%$   $n = 8$ )



Kuva 13. Kuoren (Kuo), purun (Pu) ja hakkeen (Ha) osuus tukin kuorellisesta tilavuudesta läpimitan mukaan.  
Fig. 13. Proportions of bark (Kuo), sawdust (Pu) and chips (Ha) in log volume o.b. as per diameter.

jossa  $Ha$  = hakkeen kiintotilavuusosuus tukin kuorellisesta tilavuudesta, %  
 $d$  = kuoreton latvaläpimita, mm

Seuraavana pyrittiin löytämään sivutuotteiden kiintotilavuusosuuksiin eniten vaikuttavat tekijät. Läpimitan vaikutus sivutuotteiden osuuksiin on esitetty jo edellä. Läpimitan lisäksi saanto ja asetekorkeus vaikuttavat sivutuotteiden osuuksiin. Sahatavaran saannon mukaan määräytyy purun ja hakkeen yhteisöosuus. Koska purun osuuden todettiin alenevan tasaisesti läpimitan kasvaessa (kuva 13), vaikuttanee saanto enemmän hakkeen kuin purun osuuteen. Asetekorkeus vaihtelee terän leikkauskorkeuksien mukaan, joten se vaikuttaa ennen kaikkea purun osuuteen.

Selvitteäkseen läpimitan, asetekorkeuden ja saannon merkitys sivutuotteiden osuuksiin, laskettiin niiden ja sivutuotteiden kiintotilavuusosuuksien väliset korrelaatiokertoimet. Kuoren kiintotilavuusosuus on laskettu tukin kuorellisesta tilavuudesta ja purun sekä hakkeen osuus tukin kuorettomasta tilavuudesta. Asetekorkeus

on laskettu kokonaisasetekorkeutena tukin kuoretonta tilavuutta kohti. Saanto on laskettu tukin kuorettomasta tilavuudesta. Tulokset olivat seuraavat.

Muuttuja	Korrelaatiokertoimet (n = 8)		
	Kuori	Puru	Hake
Läpimita	0,964	-0,955	-0,611
Asetekorkeus	–	0,999	0,720
Saanto	–	-0,881	-0,954

Kuoren kiintotilavuusosuuteen vaikutti kyseisistä muuttujista vain läpimita ja sen korrelaatio oli tietenkin voimakas. Purun kiintotilavuusosuuden kanssa korreloi parhaiten asetekorkeus. Korrelaatio oli hyvin korkea. Myös läpimita korreloi purun osuuden kanssa voimakkaasti. Purun kiintotilavuusosuuden ja asetekorkeuden välille saatiin seuraava lineaarinen yhtälö.

$$Pu_k = 2,517 + 1,858 AkK_{kok} \quad (R^2 = 99,72\% \quad n = 8)$$

jossa  $Pu_k$  = purun kiintotilavuusosuus tukin kuorettomasta tilavuudesta, %  
 $AKK_{kok}$  = kokonaisasetekorkeus tukin kuoretonta tilavuutta kohti,  $m/m^3$

Hakkeen osuutta selitti parhaiten saanto. Läpimitan ja asetekorkeuden korrelaatio jäi huomattavasti alhaisemmaksi. Hakkeen kiintotilavuusosuuden ja saannon välille saatiin seuraava lineaarinen yhtälö.

$$Ha_k = 65,07 - 0,6798 Sa \quad (R^2 = 91,07\% \quad n = 8)$$

jossa  $Ha_k$  = hakkeen kiintotilavuusosuus tukin kuorettomasta tilavuudesta, %  
 $Sa$  = saanto tukin kuorettomasta tilavuudesta, %

### 5.1.6 Sahausnopeus ja -teho

Aluksi on syytä tarkastella sahausnopeuden ja -tehon teoreettisia perusteita. Sahalaitosten suunnittelusta voidaan todeta, että ne suunnitellaan koneiden sijoitukseltaan sekä koneet valitaan suoritussyvyytään sellaisiksi, että pääsahakoneita (tässä tutkimuksessa kehäsahoja) voidaan käyttää täydellä teholla. Kehäsahoista jakokehä mitoitetaan sen mukaan, että se pystyy suoriutuamaan "normaaleilla" aseteilla pelkkakehältä tulevista pelkoista. Voidaan siis olettaa, että pelkkakehän suoritussyvyyden mukaan määrättyvät maksimaaliset sahausnopeudet. Pelkkakehän suoritussyvyys riippuu sen iskunpituudesta ja kierrosluvusta. Suoritussyvyys määrää sen maksimi-

voiman, jolla terät kykenevät tukkia leikkaamaan. Pelkkakehän maksimileikkausvoima on vakio kaikille läpimitaluokille.

Edellisen mukaisesti tukeille voidaan käyttää sellaista sahausnopeutta, että edellä mainittu voima ei ylitä. On kuitenkin otettava huomioon, että maksimivoiman vallitessa koneet joutuvat kovalle rasitukselle ja varsinkin terät väsyvät kitkan ja sen aiheuttaman lämmön vuoksi ja menettävät helposti jännityksensä.

Myös koesahauksissa käytettiin kussakin läpimitaluokassa pelkkakehän suoritussyvyyden mukaisia sahausnopeuksia. Sahausnopeus läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 14.

Sahausnopeus aleni pienimmän läpimitaluokan 21,6 m:stä/min suurimman luokan 9,5 m:iin/min ja oli keskimäärin 15,3 m/min. Suurin sahausnopeus on 127,4 % korkeampi kuin pienin sahausnopeus.

Läpimitan vaikutusta sahausnopeuteen tutkittiin regressioanalyysillä kuvan 14 tiedoista. Parhaiten sahausnopeutta selitti seuraava läpimitan suhteen toisen asteen yhtälö.

$$SaNop = 48,14 - 0,2201 d + 0,000315 d^2$$

( $R^2 = 97,29\%$   $n = 8$ )

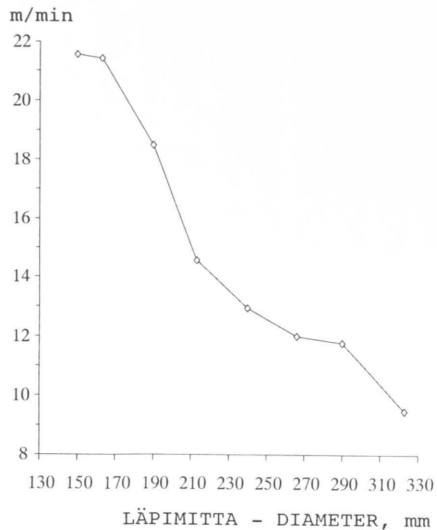
jossa  $SaNop$  = sahausnopeus tukkien yhteispituutena, m/min  
 $d$  = kuoreton latvaläpimita, mm

Kuvasta 14 havaitaan, että vaikka läpimitalla on suuri vaikutus sahausnopeuteen, niin täysin lineaarisesti se ei kuitenkaan muutu läpimitan kasvaessa. Onkin syytä tarkastella niitä tekijöitä, jotka vaihtelevat läpimitaluokkien välillä sekä myös niiden sisällä ja voivat aiheuttaa vaihtelua sahausnopeuksiin. Sahausnopeuden oletetaan olevan vakio kussakin läpimitaluokassa koko tukin pituudelta.

Läpimitan kasvu aiheuttaa suoraviivaisesti leikkausvoiman kasvun tarpeen eli kääntäen, mitä suurempi läpimita, sen pienempi sahausnopeus on mahdollinen. Tukin suurin läpimita (tyviläpimita) määrää käytettävän sahausnopeuden. Jos sahausnopeuden selittäjänä käytetään latvaläpimitaa, on otettava huomioon myös tukin pituuden ja kapenemisen vaikutus. Tukkien tyvisievistys vähentää kapenemisen ja pituuden merkitystä. Tukin tiheydellä on myös suoraviivainen vaikutus leikkausvoiman tarpeeseen. Tiheyden kasvu alentaa suurinta mahdollista sahausnopeutta. Tukin laadun vaikutus näkyi selvimmän huonolaatuisten tukkien aiheuttamina seisokkeina. Mutta vaikka seisokkien vaikutus poistettaisiin, huonolaatuisten tukkien sisältä-



SAHAUSNOPEUS  
SAWING SPEED



Kuva 14. Sahausnopeus läpimitan mukaan.  
Fig. 14. Sawing speed as per diameter.

mien vikojen, kuten oksien ja lylvyn, tukin keskimääräistä tiheyttä korkeampi tiheys hidastaa myös sahausnopeutta.

Edellä olevat ovat tukin ominaisuuksista johtuvia tekijöitä. Sahaustekninen ominaisuus on taas käytetty asete. Asetteen vaikutus sahausnopeuteen riippuu siinä olevien terien lukumäärästä. Koska tukki on pyöreä, terien lukumäärän kasvu ei vaikuta kuitenkaan suoraviivaisesti leikkausvoiman tarpeeseen. Jo läpimitan yhteydessä todettiin leikkausvoiman tarpeen riippuvan suoraviivaisesti leikkauskorkeudesta. Kun tukin keskipisteen kautta kulkevasta leikkauslinjasta siirrytään kohti tukin reunoja, leikkauskorkeudet alenevat ja leikkausvoiman tarve vähenee. Asetteen vaikutus saadaan oikein otetuksi huomioon käyttämällä aiemmin määriteltyjä asetekorkeuksia, jotka ilmaisevat leikkauskorkeuksien summan. Asetekorkeuden lisääntyminen aiheuttaa suoraviivaisesti leikkausvoiman kasvun tarpeen ja suurimman mahdollisen sahausnopeuden alenemisen.

Edellä on käsitelty eri tekijöiden teoreettinen vaikutus sahausnopeuteen. Seuraavaksi etsittiin

regressioanalyysillä näiden tekijöiden, tukin läpimitan, kapeneminen, pituus, tiheys, laatu ja pelkkakehän asetekorkeus, joukosta merkittävimmät selittäjät sahausnopeudelle. Tulos oli seuraavan jaotelman mukainen.

Selitettävä: Sahausnopeus, m/min

Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selitysasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	32,18		
Kuoreton latvaläpim., mm	-0,04531	-3,80	8,46
Pelkkakehän asetek., m	-9,729	-2,63	4,04
$R^2 = 97,07\%$			
$F = 82,93 (2, 5)$			

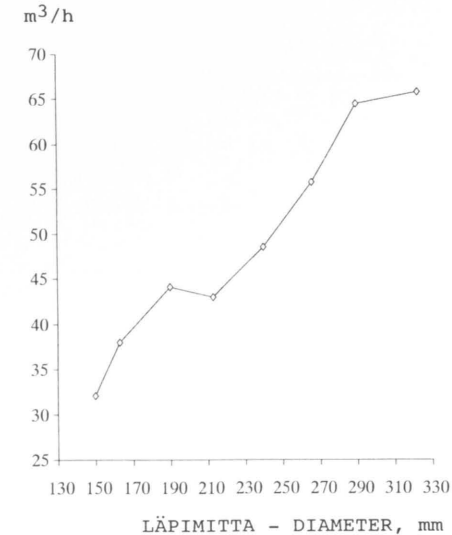
Parhaiten sahausnopeuden vaihteluita selittivät latvaläpimita ja pelkkakehän asetekorkeus erillistekijöinä ja ensimmäisen asteen muodossa. Ne selittivät sahausnopeuden muutoksista 97,07 %. Tukin tiheydellä todettiin olevan vain vähäinen vaikutus sahausnopeuteen. Tätä osoitti mm. tiheyden alhainen t-arvo (-0,42). Myöskään tiheyden poistaminen ei juuri lainkaan (0,1 %) heikentänyt selitysaseta.

Vaikka aiemmin todettiin, että muut sahan koneet mitoitettaisiin pelkkakehän ominaisuuksien mukaan, tehtiin koesahaustulosten ja koesahausten aikana tehtyjen havaintojen perusteella seuraavat tämän pääperiaatteen vastaiset johtopäätökset.

Pienimmän läpimittaluokan vain vähän seuraavaa luokkaa suurempaan sahausnopeuteen ei ollut syynä pelkkakehän suorituskyvyn puute, vaan se, että sahalaitoksen alkupää ei pystynyt tuomaan tukkeja nopeammin pelkkakehälle. Pelkkakehän suorituskyvyn nähden sahalaitos toimi siis vajaalla teholla pienimmässä läpimittaluokassa. Suurimmassa läpimittaluokassa taas sahausnopeus aleni huomattavasti edelliseen luokkaan verrattuna. Tämä viittaa siihen, että siinä lähestytään sitä maksimitukkikokoa, joka pystytään tehokkaasti sahaamaan. Tällöinkään rajoituksena ei ole yksistään pelkkakehän suorituskyky, vaan rajoittaviksi tekijöiksi tulee suurten tukkien kankeampi liikkuminen kuljettimilla ja ennen kaikkea jakokehän jälkeen tulevien särmäyksen, tasauksen ja dimensiolajittelun kapasiteetti.

Sahausnopeuteen liittyy läheisesti sahausteho. Sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena on esitetty kuvassa 15. Sahausteho vaihteli pienimmän läpimittaluokan 32,1 m<sup>3</sup>:stä/h suurimman luokan 65,7 m<sup>3</sup>:iin/h ja oli keskimäärin

SAHAUSTEHO  
SAWING EFFICACY



Kuva 15. Sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena läpimitan mukaan.  
Fig. 15. Sawing efficacy in terms of log volume o.b. as per diameter.

49,0 m<sup>3</sup>/h. Koska sahausteho tukkien tilavuutena määräytyy sahausnopeuden perusteella, sahausnopeuteen vaikuttavat tekijät selittävät myös sahaustehon läpimittaluokittaista vaihtelua. Lisäksi tulee tukin tilavuuden kasvun vaikutus eri läpimittaluokissa.

Kuvasta 15 havaitaan, että sahausteho lisääntyi läpimitan kasvaessa luokkaa 204–216 mm lukuun ottamatta. Tässä läpimittaluokassa myös sahausnopeus laski jyrkästi edelliseen luokkaan verrattuna (s. 30, kuva 14). Vaikka aiemmin todettiin tässä luokassa viereisiä luokkia suhteellisesti alempi tukin tilavuus (s. 21, kuva 7), se ei selitä näin suurta sahaustehon muutosta edelliseen luokkaan verrattuna. Todennäköisin syy on tämän luokan viereisiä luokkia korkeampi pelkkakehän asetekorkeus (s. 25, kuva 10).

Sahaustehon arvot vahvistavat myös sahausnopeuden yhteydessä tehtyä olettamusta, jonka mukaan pienimpiä tukkeja sahattiin vajaalla teholla eikä suurimpien tukkien osalta sahausteho paljoakaan enää kohonnut.

5.1.7 Seisokki

Tarkasteltaessa seisokkien syitä yleisemmin voidaan todeta, että vaikka seisokkien kesto tässä tutkimuksessa mitattiin pelkkakehällä, seisokkien syyt löytyvät vain osittain pelkkakehältä. Häiriöt sahausprosessissa sekä ennen pelkkakehää että sen jälkeen aiheuttavat nopeasti häiriön myös pelkkakehällä. Seisokkien määrä riippuu myös sahausnopeudesta. Mitä lähempänä käytetty sahausnopeus on maksimaalista sahausnopeutta, sitä helpommin sattuu seisokkeja, koska tällöin sahausprosessin jokaisen vaiheen on toimittava täydellisemmin. Myös koneet joutuvat suurilla sahausnopeuksilla kovemmalle rasitukselle ja rikkoutuvat helpommin. Muita mahdollisia syitä seisokkeihin ovat tukkien viat, kuten oksantynät, mutkat ja lenkous, työvoiman heikko ammattitaito sekä laitteiden ominaisuudet.

Taulukossa 8 on esitetty seisokkien lukumäärä, lukumäärän osuus seisokkien kokonaismäärästä ja seisokkien keston osuus tehollisesta sahausajasta läpimittaluokittain.

Seisokkien lukumäärästä yli kolmannes oli kestoltaan alle puoli minuuttia ja yli puolet alle minuutin. Seisokkien määrästä oli yli 90 % alle viiden minuutin pituisia. Vaikka lyhyiden seisokkien lukumääräinen osuus oli suuri, niiden osuus tehollisesta sahausajasta jäi vähäiseksi. Alle puolen minuutin mittaisten seisokkien osuus tehollisesta sahausajasta oli keskimäärin 1,7 % ja alle minuutin mittaisten 3,3 %. Alle viiden minuutin mittaisten seisokkien osuus oli kestoltaan noin puolet seisokkien kokonaissajasta.

Läpimitalla ei havaittu olevan vaikutusta seisokkien määriin. Lievää seisokin keston lisääntymistä havaittiin läpimitan kasvaessa ( $r = 0,061$ ,  $n = 103$ ).

Syitä seisokkeihin ei tässä tutkimuksessa määritetty. Kuitenkin mm. sievistyksen tiedetään Koskelan (1979) ja Tarvaisen (1985) mukaan vähentävän sahausprosessin seisokkeja ja seisokkeja vähentävä vaikutus kasvaa läpimitan suuretessa. Sievitys on todennäköisin syy siihen, ettei seisokkien määrä lisääntynyt suurissa läpimittaluokissa, vaikka yleinen käsitys sahamiesten keskuudessa on, että läpimitan kasvusta aiheutuva tukin koon kasvu sellaisenaan sekä tukista sahattavien saheidien lukumäärän kasvu lisäävät seisokkien lukumäärää.

Kun myöhemmin lasketaan todellisen sahausajan mukaiset kustannukset, on tiedettävä kuitenkin läpimittaluokan seisokkien keston osuus kokonaissahaajasta. Taulukosta 8 havaitaan, että seisokkien kokonaiskeston osuus tehollisesta

Taulukko 8. Seisokkien lukumäärä (n), lukumäärän osuus seisokkien kokonaismäärästä (os 1) sekä seisokkien keston osuus tehollisesta sahausajasta (os 2) eri seisokkiluokissa läpimitaluokittain.  
Table 8. Number of stoppages (n), proportion of total number of stoppages (os 1), and stoppage durations as a proportion of the effective sawing time (os 2) in the different stoppage categories as per diameter class.

Läpimitaluokka, mm Diameter class, mm	Seisokkiluokka, min - Stoppage category, min												Yhteensä - Total	
	0,25-0,4		0,5-0,9		1,0-1,9		2,0-4,9		5,0-9,9		10,0-			
	n	os 1	n	os 1	n	os 1	n	os 1	n	os 1	n	os 1	n	os 1
133-152	2	33,3	1,3	16,7	1,9	3	50,0	10,2	-	-	-	-	6	100,0
153-165	6	50,0	4,3	33,4	7,2	1	8,3	2,9	1	8,0	-	-	12	100,0
166-179	4	66,6	3,1	-	2	33,4	5,5	-	-	-	-	-	6	100,0
180-190	2	22,2	1,3	11,1	1,0	5	55,6	12,4	-	-	1	11,1	37,8	9
191-203	2	50,0	1,4	-	-	-	-	-	2	50,0	11,9	-	4	100,0
204-216	2	25,0	0,9	12,5	0,9	1	12,5	1,8	3	37,5	17,4	1	12,5	8
217-229	2	20,0	1,3	-	-	3	30,0	5,1	2	20,0	8,4	1	10,0	10
243-255	3	20,0	1,3	33,3	4,2	-	-	-	7	46,7	29,1	-	15	100,0
256-268	2	66,7	1,0	-	-	1	33,3	1,4	-	-	-	-	3	100,0
281-293	1	16,7	0,5	-	-	2	33,3	3,8	2	33,3	7,9	1	16,7	12,6
294-306	8	61,5	3,3	2	15,4	1,9	-	-	2	15,4	13,1	1	7,7	14,4
307-331	2	18,2	0,6	3	27,3	2,3	2	18,2	2,8	3	27,3	7,8	1	9,0
Yht. - Total	36	35,0	1,7	16,5	1,6	20	19,4	3,8	20	19,4	7,5	4	3,9	2,8
Kumulat.	36	35,0	1,7	51,5	3,3	73	70,9	7,1	93	90,3	14,6	97	94,2	17,4
													103	100,0
													31,1	31,2

sahausajasta oli keskimäärin 31,2 %. Osuudet vaihtelivat kuitenkin 2,4 %:sta 91,8 %:iin läpimitaluokan mukaan. Iso vaihtelu johtuu suurten seisokkiluokkien havaintojen vähäisestä määrästä. Tämän vuoksi otettiin lisäaineistoksi sahan omat tilastot seisokeista. Laajennetusta aineistosta saatiin seisokkien osuudeksi 20 % kokonaissahausajasta ja seisokin keskimääräiseksi kestoksi 3 min. Seisokkien osuus ja keskimääräinen kesto olivat samat kaikissa läpimitaluokissa.

### 5.1.8 Sähköenergian kulutus

Sahateollisuuden energiantarve on kasvanut viime vuosikymmenellä jatkuvasti. Syynä tähän ovat mm. sahojen koneellistamisasteen kohoaminen ja keinokuivauksen lisääntyminen. Laitoskohtaiset energian ominaiskulutusmäärät vaihtelevat suuresti riippuen mm. laitoksen koosta ja keinokuivauksen osuudesta.

Kokonaisenergiankulutus jakautuu eri energiamuotojen kesken keskimäärin seuraavasti: lämpö 77,5 %, sähkö 19,2 % ja työkonoiden

poltoneste 3,3 % (Iivonen ym. 1983).

Tutkimussahalla jäi mm. suuri sähköenergian kuluttaja, kuivaamo, tarkastelun ulkopuolelle. Iivosen ym. (1983) mukaan kuivaamon osuus oli pohjoismaisen sahalaistoksen sähköenergian käytöstä keskimäärin 39 %. Kun Iivosen ym. (1983) tulosten mukaan laskettiin tässä tutkimuksessa tarkasteltavan prosessin osuus sahalaistoksen sähköenergian kokonaiskäytöstä, saatiin osuudeksi 45 %.

Kuten aiemmin on mainittu, tukkien lajitteluosasto sijaitsee erillään sahalaistoksesta. Lisäksi ajankohta, jolloin tukit lajitellaan, eroaa yleensä huomattavasti niiden sahausajasta. Tämän vuoksi tukkien lajittelun sähkönkulutus jouduttiin jättämään yksityiskohtaisen tarkastelun ulkopuolelle. Kuitenkin voidaan todeta, että tukkien lajittelulaitoksen teho kokonaisliittämättehosta on 4,7 % ja vuonna 1989 se kulutti 4,3 % sahan kokonaisenergiankulutuksesta. Lisäksi on ilmeistä, että lajittelulaitoksen sähköenergian kulutus riippuu vain vähän tukin läpimitasta, joten sillä ei ole suurta vaikutusta läpimitaluokkien väliin sähköenergian kulutuseroihin.

Koesahaustukit oli myös ennalta kuorittu, joten koesahausten aikana kuorimo toimi tyhjäkäyntiteholla. Tämä vaikutti vähentävästi pienimmän ja suurimman läpimitaluokan väliseen sähköenergian kulutuseroon, koska tukin läpimitan kasvu lisää kuorimon sähköenergian kulutusta (esim. Liiri 1955). Eroa ei kuitenkaan pystytty selvittämään. Kuorimon osuus kokonaisliittämättehosta on 5 %.

Sähköenergian kulutus tukin kuorellista tilavuutta kohti on esitetty kuvassa 16. Sähköenergian kulutus tukin kuorellista tilavuutta kohti aleni pienimmän läpimitaluokan 8,9 kWh:sta/m<sup>3</sup> toiseksi suurimman luokan 4,7 kWh:iin/m<sup>3</sup> ja oli keskimäärin 6,4 kWh/m<sup>3</sup>.

Läpimitan vaikutus sähköenergian kulutukseen tukin kuorellista tilavuutta kohti tutkittiin regressioanalyysillä kuvan 16 tiedoista. Parhaiten sähköenergian kulutusta selitti seuraava läpimitan suhteen toisen asteen yhtälö.

$$E_k = 18,31 - 0,08425 d + 0,0001324 d^2$$

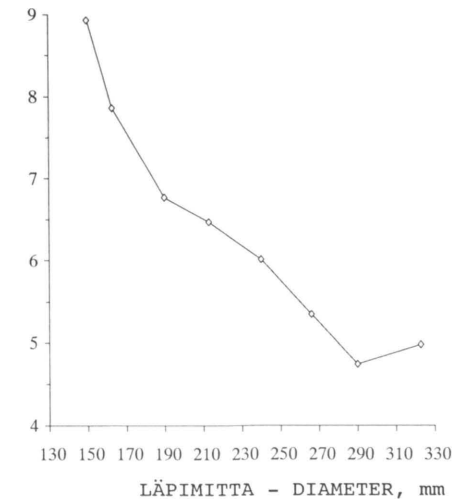
(R<sup>2</sup> = 97,20 % n = 8)

jossa E<sub>k</sub> = sähköenergian kulutus tukin kuorellista tilavuutta kohti, kWh/m<sup>3</sup>  
d = kuoreton latvaläpimita, mm

Seuraavassa pyritään löytämään syyt ja niiden vaikutukset läpimitaluokkien väliin sähköenergian kulutuksen vaihteluihin.

Valaistuksen ja lämmityksen sähköenergian

### SÄHKÖNKULUTUS POWER CONSUMPTION kWh/m<sup>3</sup>



Kuva 16. Sähköenergian kulutus tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan.

Fig. 16. Consumption of electric power per log volume o.b. as per diameter.

kulutus on läpimitasta riippumatonta. Niiden erilisuutta ei pystytty selvittämään, mutta todennäköisesti se ei ole kovin suuri. Iivosen ym. (1983) tutkimuksessa todettiin erään sahalaitoksen lämmityksen ja valaistuksen osuuden olevan 5,5 % sahan kokonais sähkökulutuksesta.

Valaistusta ja lämmitystä lukuun ottamatta muu sähköenergia kuluu sähkömoottoreissa. Sähkömoottoreita on kaikkiaan 103 kpl ja yhden moottorin teho on keskimäärin ainoastaan 9,0 kW. Pääosa pienistä sähkömoottoreista on erilaisissa kuljettimissa. Sahausprosessille on tyypillistä kuormitusasteen suuret vaihtelut. Kuljettimien sähkökulutus muuttuu vain vähän kuormitusasteen mukaan (Iivonen ym. 1983), joten niiden vaikutus läpimittaluokkien välisiin kulutuseroihin on vähäinen. Kuljettimien osuus sähkön kokonaiskulutuksesta on kuitenkin huomattava.

Sahausprosessin läpimittaluokittaiset kulusterot ja sähkön kokonaiskulutus määräytyvät siten muiden sahakoneiden kuin kuljettimien mukaan. Tässä suhteessa merkittävimmät koneet ovat tukkien sievistäjä, kuorimakone, kehäsahat, särmäkurso ja hakkuri. Niiden yhteistehto kokonaisliittäntätehosta on 61,1 %. Yksittäisistä koneista kehäsahojen, särmäkursun ja hakkurin osuudet ovat yli 10 % kokonaisliittäntätehosta.

Sievistäjän sähkökulutus kasvaa tukin läpimitan kasvaessa. Koska läpimitan suuret lisääntyvät tyvitukkien osuus, kasvaa sievistystarve vielä enemmän kuin läpimitan kasvusta voi päätellä. Sievistäjän sähkökulutus näet riippuu suoraan sievistettävän puuaineen määrästä ja osuudesta. Tukin tilavuus selittääkin läpimittaa paremmin sievistäjän sähkökulutusta.

Kuorimakoneen sähkökulutus riippuu samalla tavoin tukin tilavuudesta kuin sievistäjän kulutus. Koska tukit sievistetään ennen kuorintaa, tyvitukkien tyvilaaientumien vaikutus vähenee huomattavasti kuorimakoneella ja osa tyvitukien tyvipäistä tulee jo sievistettäessä kuorituksi.

Iivosen (1981) mukaan kehäsahan vaatima sähköteho suurenee, kun seuraavat tekijät kasvavat: lastunpaksuus, sahattavan kappaleen paksuus, terän leikkuuleveys, leikkuunopeus, syöttönopeus ja leikkuiden lukumäärä. Näistä tekijöistä syöttönopeus, sahattavan kappaleen paksuus sekä leikkuiden lukumäärä riippuvat tukin läpimitasta ja vaikuttavat siten läpimittaluokittaisiin sähkökulutuseroihin.

Särmäkursolla läpimitan kasvaessa lisääntyä sivulauta-aihioiden määrä ja tällöin myös sähkökulutus kasvaa. Lisäksi saanto sivulauta-ai-

hiosta vaikuttaa sähkökulutukseen. Saannon aletessa hakettavan puuaineen osuus ja sähkökulutus kasvavat.

Hakkurin sähkökulutukseen vaikuttaa kaksi tekijää. Tukin tilavuuden kasvaessa lisääntyy hakettavan aineksen osuus ja siis hakkurin sähkökulutus lähes samassa suhteessa. Saanto taas määrää lopullisesti kussakin läpimittaluokassa hakettavaksi joutuvan puun tilavuuden.

Läpimittaluokittaisiin sähkökulutuseroihin vaikuttavat tukin ominaisuuksista tiheys, kosteus ja viat. Tukin tiheyden kasvu lisää sähkökulutusta suoraviivaisesti tyvisievistimellä, kehäsahoilla, särmäkursolla ja hakkurilla. Kosteyden lisääntyminen taas vähentää sähkökulutusta. Tässä tutkimuksessa kosteutta ei mitattu, mutta on yleisesti tunnettua, että rungossa kosteusuhde kasvaa tyvestä latvaan päin, joten pienten tukkien kosteusuhde on suuria korkeampi (esim. Kärkkäinen 1985). Tukien kastelu tasoiittaa vain vähän läpimitan vaikutusta kosteuteen, koska kastelu vaikuttaa ainoastaan tukin pintapuun pintaosiin.

Tukin viat, kuten oksantygät, puuaineen oksat, mutkat ja kieroutumat, lisäävät sahausprosessin häiriöalttiutta. Koska sähkökulutus laskettiin tehollisena sahausaikana, häiriöiden vaikutus jäi pois. Kuitenkin monet viat, kuten oksat ja lyly, nostavat tukin keskimääräistä tiheyttä ja siten lisäävät sähkökulutusta myös tehollisena aikana.

On huomattava, että vaikka tukin läpimitan kasvun on todettu lisäävän monella tavalla sähkökulutusta, niin sahausnopeuden mukaan määräytyvä sahausteho lisääntyy myös keskimäärin läpimitan kasvaessa ja vaikuttaa siten vähentävästi sähköenergian kulutukseen tukin tilavuutta kohti.

Edellä on käsitelty eri tekijöiden teoreettinen vaikutus sähköenergian kulutukseen. Näistä tekijöistä, tukin latvaläpimita, tiheys, laatu, tilavuus, kokonaisasetekorkeus, sahausteho ja saanto, etsittiin regressioanalyysillä merkittävimmät selittäjät sähkökulutukselle tukin kuorellista tilavuutta kohti. Tulos on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

Selitettävä: Sähköenergian kulutus, kWh/m<sup>3</sup>

Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selvityksen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	16,62		
Sahausteho, m <sup>3</sup> /h	-0,0897	-6,26	31,25
Saanto, %	-0,1268	-2,54	5,14
R <sup>2</sup> = 96,02 %			
F = 60,31 (2, 5)			

Taulukko 9. Sähköenergian kulutuksen osuus tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta (os) eri seiskiluokissa läpimittaluokittain. Table 9. Electric power consumption as a proportion of effective sawing time's consumption of electric power (os) in the different stoppage categories per diameter class.

Läpimitaluokka, mm Diameter class, mm	Seiskiluokka, min - Stoppage category, min																																
	0,25-0,4			0,5-0,9			1,0-1,4			1,5-1,9			2,0-2,9			3,0-3,9			4,0-4,9			5,0-7,4			7,5-9,9			10,0-14,9			15-		
	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%	n	os	%			
133-152	2	87,1	72,2	1	72,2	2	71,4	1	69,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
153-165	6	97,5	4	78,4	1	67,8	1	67,8	1	69,3	1	69,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
166-179	4	86,8	1	71,7	1	70,3	1	70,3	1	70,3	1	70,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
180-190	2	78,5	1	68,4	1	70,4	4	68,4	1	68,4	1	68,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
191-203	2	72,8	1	86,3	1	75,5	1	75,5	1	75,5	1	75,5	1	61,6	1	56,0	1	56,0	1	56,0	1	56,0	1	56,0	1	56,0	1	56,0	1	56,0	1	56,0	
204-216	2	90,6	1	83,0	2	77,9	1	72,0	1	72,0	1	72,0	1	75,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	2	61,5	
217-229	3	97,3	5	92,7	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	70,7	1	69,9	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	
243-255	2	89,6	1	88,4	2	74,4	1	78,6	1	78,6	1	78,6	1	70,7	1	69,9	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	
256-268	2	88,4	2	74,4	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	70,7	1	69,9	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	
281-293	8	90,2	2	74,4	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	70,7	1	69,9	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	
294-306	8	90,2	2	74,4	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	80,5	1	70,7	1	69,9	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	3	61,2	
307-331	2	88,1	3	73,4	1	77,0	1	77,0	1	77,0	1	77,0	1	67,0	1	45,8	1	45,8	1	45,8	1	45,8	1	45,8	1	45,8	1	45,8	1	45,8	1	45,8	
Yht. - Total	36	87,5	17	78,0	11	74,5	9	71,2	8	69,1	6	61,8	6	59,6	3	58,3	1	45,2	2	49,9	4	34,8											

Parhaiten sähköenergian ominaiskulutusta selittivät sahausteho ja saanto. Kun sahausteho voi vaihdella välillä 30...70 m<sup>3</sup>/h, jaotelman esittämien regressiokertoimien mukaan sahaustehon vaikutus on sähkön ominaiskulutuksen kannalta ratkaiseva. Kiintoisaa kuitenkin on, että sahaustehon vakioinnin jälkeen saannon vaikutus on vielä huomattava.

Lopuksi vielä tutkittiin seisokin vaikutus sähköenergian kulutukseen. Taulukossa 9 on esitetty seisokin keston mukaisten seisokkiluokkien sähköenergian kulutuksen osuus tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta läpimittaluokittain.

Kun tarkastellaan samassa seisokkiluokassa sähköenergian kulutuksen vaihtelua läpimitan mukaan, huomataan sähköenergian kulutuksen suuret vaihtelut, mutta mitään selvää riippuvuutta läpimitasta ei havaita. Läpimittaluokittaiset sähköenergian kulutusosuudet riippuvat paljolti tehollisen sahausajan energiankulutuksesta. Jos tehollisen sahausajan sähköenergian kulutus on lähellä maksimaalista tasoa, niin sähköenergian kulutus seisokkien aikana alenee hyvin selvästi ja sen osuus tehollisen ajan kulutuksesta on pieni.

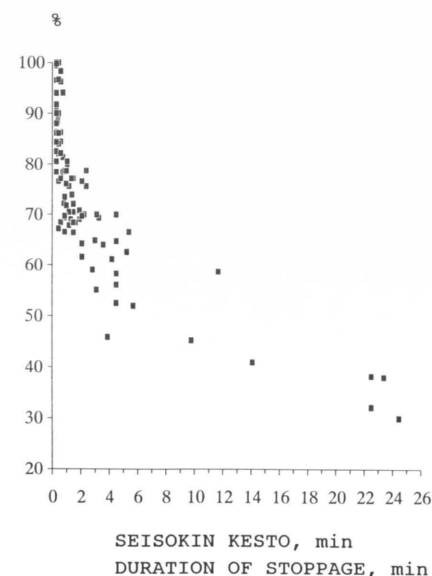
Kuvassa 17 on esitetty sähköenergian kulutusosuudet tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta seisokkiajan mukaan.

Sähköenergian kulutusosuudet vähenivät seisokin keston kasvaessa. Kuvaajasta havaitaan, että se aluksi laskee jyrkästi ja jo alle minuutin seisokeissa sähköenergian kulutusosuus väheni alle 80 %:iin. Syynä sähköenergian kulutusosuuden jyrkkään laskuun on seuraava sahausprosessin tyhjäkäyntiteholle siirtymisen "automaattikka".

Kun tukin syöttö pelkkakehään pysähtyy ja seisokki alkaa, siirtyy pelkkakehä tyhjäkäyntiteholle. Kehäsahan tyhjäkäyntiteho on noin 25 % nimellistehosta (Iivonen ym. 1983). Tukin syötön keskeytyessä pelkkakehään pysähtyy tukin kulku nopeasti myös pelkkakehää edeltävissä sahausprosessin vaiheissa ja mm. paljon sähköenergiaa kuluttavat tyvisievistin ja kuorimakone siirtyvät tyhjäkäyntiteholle. Myös kuljettimet siirtyvät tyhjäkäyntiteholle, mutta niiden sähköenergian kulutus riippuu vain vähän kuormituksesta. Pelkkakehän jäljessä oleva jakokehä siirtyy myös nopeasti tyhjäkäyntiteholle, koska kehäsahojen välissä ei ole pelkkojen väliavarastointimahdollisuutta.

Sähköenergian kulutusosuuden jyrkkä väheneminen jo hyvin lyhyissä seisokeissa johtuu siis sahausprosessin alkupään, aina jakokehälle

SÄHKÖENERGIAN KULUTUSOSUUS  
PROPORTION OF POWER CONSUMED



Kuva 17. Sähköenergian kulutusosuus tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta seisokin keston mukaan.

Fig. 17. Proportion of electric power consumed in terms of power consumed during sawing as per duration of stoppage.

saakka, siirtymisestä tyhjäkäyntiteholle. Usein myös pelkkakehä on jo kokonaan pysäytetty.

Seisokin pidentyessä minuutista noin kolmeen minuuttiin sähköenergian kulutusosuus väheni tasaisesti hidastuen noin 70 %:iin. Tänä aikana jakokehän jälkeisen sahausprosessin kuormitus vähenee tasaisesti ja on osittain siirtynyt tyhjäkäyntiteholle.

Koska seisokin pituutta on vaikea ennustaa sen alkaessa ja koska moottorin käynnistysteho on suuri, pidetään sahausprosessin alkupää tyhjäkäyntiteholle alkuminuuttien ajan.

Seisokin pidentyessä kolmesta minuutista viiteen sähköenergian kulutusosuus väheni 70 %:sta alle 60 %:iin. Tällöin sahausprosessin alkupään koneita on pysäytetty ja loppupään kuormitus on vähentynyt.

Seisokin kasvaessa viidestä minuutista 25 minuuttiin sähköenergian kulutusosuudet vähenivät tasaisesti hidastuen noin 30 %:n tasolle. Tänä aikana on viimeinenkin saha pudonnut dimen-

siolajittelijan lokeroon ja sen tasauspätkät on haketettu. Suurin osa sahakoneista on kokonaan pysäytetty. Vain saheiden paketointi ja huolto-osaston toiminnot ovat käynnissä. Myös valaistus ja lämmitys ovat päällä.

Koska myöhemmin laskettaessa todellisen sahausajan mukaisia sähköenergian kustannuksia tarvitaan tieto seisokin keston vaikutuksesta sähköenergian kulutusosuuteen, laskettiin kuvassa 17 esitetyistä tiedoista sähköenergian kulutusosuuden ja seisokin keston välinen yhtälö. Yhtälö sai seuraavan muodon.

$$E_o = 76,39 - 12,22 \ln(S_e) \quad (R^2 = 80,56 \% \quad n = 103)$$

jossa  $E_o$  = sähköenergian kulutusosuus seisokkien aikana tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta, %

$S_e$  = seisokin kesto, min

## 5.2 Sahauksen tuotot läpimittaluokittain

### 5.2.1 Sahatavaratuotot

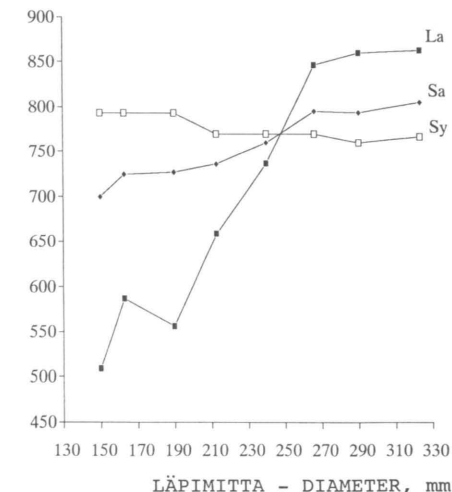
Sahatavaratuotot tukin tilavuutta kohti saadaan yhdistämällä sahatavaran yksikköhinta- ja saantotiedot. Sahatavaran saantoa on käsitelty erikseen jo aiemmin (s. 26). Sahatavaran keskimääräinen yksikköhinta lasketaan kertomalla lautojen ja sydäntavaran keskimääräinen yksikköhinta niiden tilavuudella, laskemalla näin saadut tulot yhteen ja jakamalla summa sahatavaran yhteistilavuudella. Lautojen ja sydäntavaran keskimääräiset yksikköhinnat saadaan, kun niiden dimensio- ja määrätietoihin yhdistetään niiden laatu- ja hintatiedot (liite I). Kuvassa 18 on esitetty lautojen ja sydäntavaran sekä sahatavaran yksikköhinta läpimitan mukaan.

Kuvasta 18 havaitaan, että sydäntavaran yksikköhinta aleni läpimitan kasvaessa 793,0 mk:sta/m<sup>3</sup> (kolme pienintä läpimittaluokkaa) 760,0 mk:aan/m<sup>3</sup> (luokka 281–293 mm) ja oli keskimäärin 777,0 mk/m<sup>3</sup>. Kolmen pienimmän läpimittaluokan muita luokkia korkeampi sydäntavaran yksikköhinta johtuu niissä sahatun sydäntavarapaksuuden (38 mm) muita paksuuksia korkeammasta hinnasta. Kahden suurimman läpimittaluokan muita alempi sydäntavaran yksikköhinta taas aiheutuu laadun heikkenemisestä. Vaikka näissä läpimittaluokissa leveyslisät kohottivat yksikköhintaa, laadun heikkenemisen vaikutus kuitenkin alensi sydäntavaran yksikköhinnan pieniä läpimittaluokkia alemmaksi.

Lautojen yksikköhinta sitä vastoin kohosi lä-

YKSIKÖHINTA  
UNIT PRICE

mk/m<sup>3</sup>



Kuva 18. Lautojen (La), sydäntavaran (Sy) ja sahatavaran (Sa = Sy + La) yksikköhinta läpimitan mukaan. Fig. 18. Unit prices of board (La), centre goods (Sy) and sawn goods (Sa = Sy + La) as per diameter.

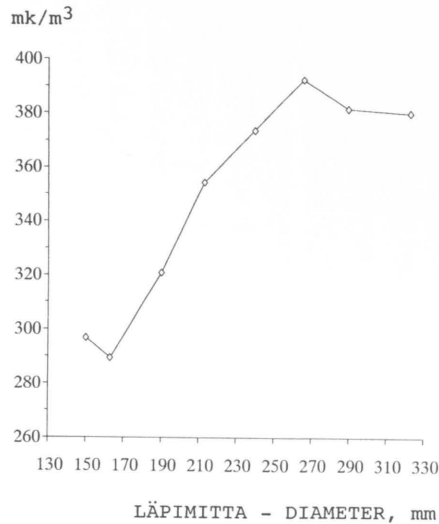
pimitan kasvaessa pienimmän läpimittaluokan 508,6 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 862,5 mk:aan/m<sup>3</sup> ja oli keskimäärin 702,0 mk/m<sup>3</sup>. Pienten luokkien lautojen alhainen yksikköhinta johtuu pääasiassa niiden runsaasta vajaasärmäisyydestä (s. 28, kuva 12). Vajaasärmäisten lautojen arvo on huomattavasti täyssärmäisiä lautoja alempi.

Kuvasta 18 havaitaan, että läpimittaluokan 230–242 mm jälkeen lautojen yksikköhinta ylittää sydäntavaran yksikköhinnan. Tämä johtuu pääasiassa vajaasärmäisten lautojen vähenemisestä läpimitan kasvaessa. Täyssärmäisten lautojen laatuosuuksilla painotetut hinnat ovat sydäntavaran vastaavia hintoja korkeammat.

Sahatavaran (sydäntavara + laudat) yksikköhinta kohosi läpimitan kasvaessa pienimmän luokan 700,1 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 805,0 mk:aan/m<sup>3</sup> ja oli keskimäärin 755,2 mk/m<sup>3</sup>. Sahatavaran yksikköhinnan kohoaminen läpimitan kasvaessa johtuu lautojen yksikköhinnan jyrkästä kohoamisesta läpimitan kasvaessa. Korkein sahatavaran yksikköhinta on noin 15 %



SAHATAVARATUOTTO  
REVENUE FROM SAWN GOODS



Kuva 19. Sahatavaratuotto tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan.  
Fig. 19. Revenue from sawn goods per log volume o.b. as per diameter.

pienintä arvoa suurempi. Muissa tutkimuksissa vastaava ero on ollut yleensä suurempi. Esim. Heiskasen (1976) tutkimuksessa sahatavaran korkein yksikköhinta oli noin 25 % alhaisinta arvoa suurempi. Kärkkäisen (1980 a) tutkimuksessa vastaava ero oli peräti noin 75 %. Tämän tutkimuksen alhaiseen eroon lienee suurimpana syynä jo aiemmin todettu (s. 22) suurten tukkien huono laatu mm. edellä esitettyjen vertailututkimusten suurten tukkien laatuun verrattuna.

Kun sahatavaran yksikköhintaan yhdistetään saanto, saadaan sahatavaratuotto tukin tilavuutta kohti. Kuvassa 19 on esitetty sahatavaratuotto läpimitan mukaan.

Sahatavaratuotto tukin tilavuutta kohti vaihteli 289,4 mk:sta/m³ (luokka 153–165 mm) 392,5 mk:aan/m³ (luokka 256–268 mm) ja oli keskimäärin 348,7 mk/m³. Suurin sahatavaratuotto on 35,6 % korkeampi kuin alhaisin sahatavaratuotto. Kun tätä eroa verrataan sahatavaran yksikköhintojen vastaavaan eroon (15 %), havaitaan, että saannon vaikutus pienimmän ja suurimman sahatavaratuoton eroon on vielä suu-

rempi kuin sahatavaran yksikköhinnan vaikutus. Saannon vaikutuksesta eivät myöskään alhaisin ja korkein sahatavaratuotto olleet pienimmässä ja suurimmassa läpimittaluokassa kuten olivat alhaisin ja korkein sahatavaran yksikköhinta.

Aiemmin esitetyn perusteella tiedetään tukkien laadun paranemisen, saannon kohoamisen ja läpimitan kasvun keskimääräisesti kohottavan sahatavaratuottoja tukin kuorellista tilavuutta kohti. Regressioanalyysillä tutkittiin edellä mainittujen tekijöiden merkitys sahatavaratuottoihin. Tulos oli seuraavan jaotelman mukainen.

Selittävät: Sahatavaratuotto, mk/m³

Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selityksasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	-51,832		
Kuoreton latvaläpim., mm	0,2929	5,60	8,55
Saanto, %	7,2366	7,83	16,73

R² = 98,64 %  
F = 180,66 (2, 5)

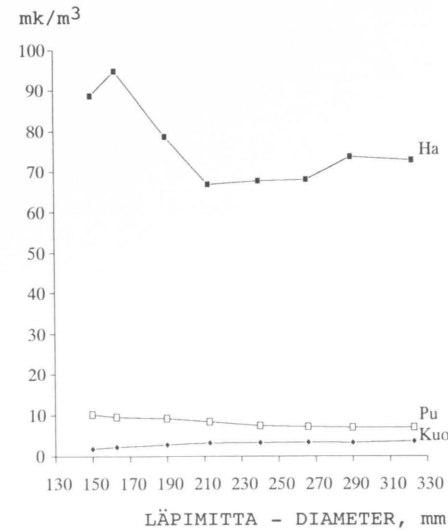
Merkittävimmiksi sahatavaratuottojen läpimittaluokittaisen vaihtelun selittäjiksi saatiin saanto ja läpimitta. Jaotelman esittämien regressio kertoimien mukaan saannon ja läpimitan normaaleilla vaihteluväleillä saannon vaikutus sahatavaratuottojen vaihteluihin on jonkin verran läpimittaa suurempi. Vaikka saanto selitti hyvin läpimittaluokkien välisiä sahatavaratuottoeroja, havaittiin sahaussimulaattorijaoissa, että varsinkin läpimittaluokkien sisällä saannon pienet lisäykset saattoivat myös alentaa sahatavaratuottoja. Tämä johtuu sahaussimulaattorin toimintaperiaatteesta, jonka mukaan se maksimoi sahauskseen tuottoja eikä saantoa. Tällöin edullisempi asetevalihteisto saattaa olla sahata tilavuudeltaan pienempiä sahteita, jos niiden laatu luokka ja sen myötä hinta riittävästi kohoavat.

5.2.2 Sivutuotteiden tuotot

Aiemmin on tarkasteltu erikseen läpimitan vaikutusta sivutuotteiden määriin. Kun sivutuotteiden määriin yhdistetään niiden hintatiedot, saadaan sivutuotteiden tuotot. Sivutuotteiden tuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 20.

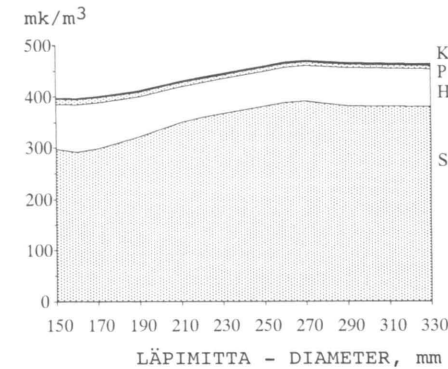
Haketuotot vaihtelivat läpimittaluokan 153–165 mm 94,8 mk:sta/m³ luokan 230–242 mm 66,8 mk:aan/m³. Purutuotot alenivat läpimitan kasvaessa pienimmän läpimittaluokan 10,2 mk:sta/m³ suurimman luokan 6,9 mk:aan/m³.

SIVUTUOTTEIDEN TUOTOT  
REVENUE FROM BY-PRODUCTS



Kuva 20. Hakkeen (Ha), purun (Pu) ja kuoren (Kuo) tuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan.  
Fig. 20. Revenues from chips (Ha), sawdust (Pu) and bark (Kuo) per log volume o.b. as per diameter.

KOKONAISTUOTOT  
TOTAL REVENUES



Kuva 21. Kokonaistuotot (sahatavara- (S), hake- (H), puru- (P) ja kuori (K)) tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan.  
Fig. 21. Total revenues (sawn goods (S), chips (H), sawdust (P) and bark (K)) per log volume o.b. as per diameter.

Kuorituotot taas lisääntyivät pienimmän läpimittaluokan 1,7 mk:sta/m³ suurimman luokan 3,6 mk:aan/m³. Keskimäärin haketuotot olivat 76,4 mk/m³, purutuotot 8,2 mk/m³ ja kuorituotot 3,0 mk/m³.

Koska sivutuotteiden hinta riippuu ainoastaan niiden tilavuudesta, vaikuttavat sivutuotteiden määriä selittävät tekijät samalla tavalla myös niiden tuottoihin. Eri tekijöiden riippuvuutta on käsitelty jo aiemmin (s. 29).

5.2.3 Kokonaistuotot

Kun sahatavaratuotot ja sivutuotteiden tuotot lasketaan yhteen, saadaan sahauskseen kokonaistuotot. Kokonaistuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 21.

Kokonaistuotot lisääntyivät keskimäärin läpimitan kasvaessa. Korkein kokonaistuotto 471,0 mk/m³ (luokka 256–268 mm) on 18,9 % korkeampi kuin alhaisin sahauskseen tuotto 396,0 mk/m³ (luokka 153–165 mm). Keskimäärin kokonaistuotot olivat 436,2 mk tukin kuorellista tilavuutta kohti.

Pienimmän ja suurimman läpimittaluokan kokonaistuottojen absoluuttinen ero on 66,0 mk/m³. Suurimman läpimittaluokan kokonaistuottoja pienimpään luokkaan verrattuna lisäävät eniten sahatavaratuotot, 83,3 mk/m³. Kuorituottojen vastaava ero on 1,9 mk/m³. Päinvastaisesti vaikuttavat hake- ja purutuotot. Pienimmän läpimittaluokan haketuotot ovat 15,9 mk/m³ ja purutuotot 3,3 mk/m³ suurimman luokan tuottoja korkeammat.

Kokonaistuotoista valtaosan, keskimäärin 79,9 %, muodostavat sahatavaratuotot. Haketuottojen osuus kokonaistuotoista on keskimäärin 17,5 %, purutuottojen 1,9 % ja kuorituottojen ainoastaan 0,7 %.

Seuraavana pyrittiin löytämään kokonaistuottoihin eniten vaikuttavat tekijät. Koska sahauskseen tukista muodostuu aina sahatavaraa, haketta, purua ja kuorta, riippuvat niiden määrät ja tuotot toisistaan. Jos jotkut tuotot muuttuvat, muuttuvat aina myös vähintään yhdet muut tuotot. Tämän vuoksi ne samat tekijät, joiden aiemmin todettiin vaikuttavan sahatavaran ja sivutuotteiden tuottoihin, valittiin myös kokonaistuottojen mahdollisiksi selittäviksi tekijöiksi. Regressioanalyysillä saatiin seuraava tulos.

Selitettävä: Kokonaistuotot, mk/m<sup>3</sup>

Selittävä tekijä	Kerroin	t-arvo	Selityksasteen alenema poistettaessa, %-yksikköä
Vakio	180,840		
Kuoretton latvaläpim., mm	0,3033	4,65	15,66
Saanto, %	4,0336	3,51	8,88
R <sup>2</sup> = 96,39 %			
F = 66,66 (2, 5)			

Läpimitta ja saanto, joiden aiemmin todettiin selittävän parhaiten sahatavaratuottoja, osoittautuivat myös parhaimmiksi kokonaistuottojen selittäjiksi. Regressiokertoimista havaitaan, että selittäjien normaaleilla vaihteluväleillä on läpimitan vaikutus kokonaistuottoihin jonkin verran saantoa suurempi. Sahatavaratuottojen kohdalla selittäjien järjestys oli päinvastainen.

Koska aseteella tiedetään olevan hyvin suuri vaikutus kokonaistuottoihin, laskettiin sahaus-simulaattorilla, kuinka paljon korkeampia tuotteita olisi ollut mahdollista saada muilla kuin koehauksissa käytetyillä aseteilla. Kuvassa 22 on esitetty edullisimman aseteen tuotot simuloinnin mukaisina sekä koehausten mukaiset tuotot.

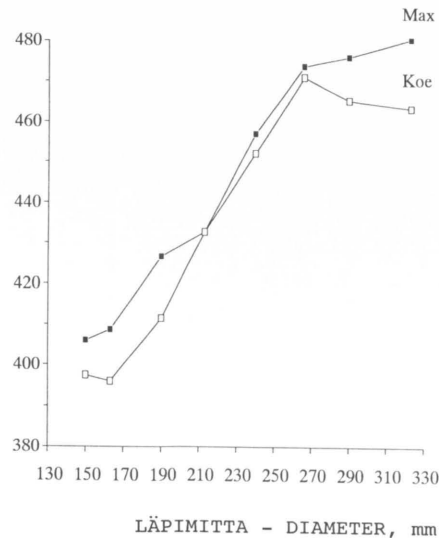
Kuvasta 22 havaitaan, että edullisimman aseteen tuottojen ero koehauksen tuottoihin oli pienimmillään luokassa 204–216 mm nolla. Suurimmillaan tuottoero oli 17,1 mk/m<sup>3</sup> isoimmassa läpimittaluokassa. Keskimäärin olivat korkeimmat tuotot 9,0 mk/m<sup>3</sup> koehauksen tuottoja suuremmat. Kuten jo saannon tarkastelun yhteydessä todettiin, koehauksissa kahden suurimman läpimittaluokan kokonaistuottoja alensi sivulautalevyksien 200 ja 225 mm puuttuminen. Sen vaikutus oli toiseksi suurimmassa läpimittaluokassa 1,4 mk/m<sup>3</sup> ja suurimmassa luokassa 9,1 mk/m<sup>3</sup>. Loput tuottoerosta johtuu erilaisesta aseteesta.

Selvää riippuvuutta läpimitan ja tuottoeron välillä ei havaittu. Suurimmat korkeimmat tuotot ovat 18,3 % suuremmat kuin alhaisimmat sahausksen tuotot eli lähes vastaava ero kuin koehauksissa (18,9 %). Tuloksista voidaan tehdä johtopäätös, että läpimittaluokan 256–268 mm jälkeen ei välttämättä tapahdu yleistä sahausksen tuottojen alentumista, kuten koehausten perusteella voisi päätellä.

Kokonaistuottojen mallia kokeiltiin myös simulaattorin mukaisiin korkeimpiin sahausstuottoihin. Selityksasteeksi saatiin 97,11 %, joten mallissa olevat läpimitta ja saanto selittivät odotetusti hyvin myös sahausksen korkeimpia tuotteita.

#### KOKONAISTUOTOT TOTAL REVENUES

mk/m<sup>3</sup>



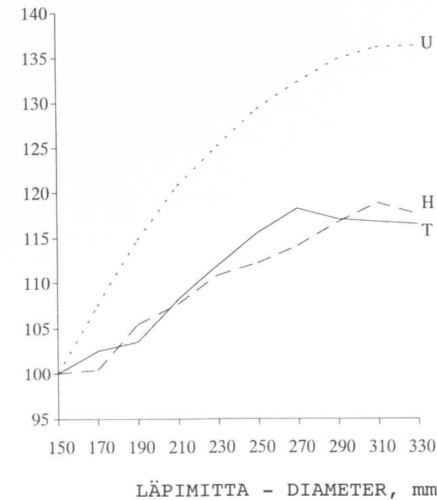
Kuva 22. Koehauksen tuotto (Koe) ja edullisimman aseteen tuotto (Max) tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan.

Fig. 22. Revenues from test sawing (Koe) and revenues from most advantageous sawing pattern (Max) per log volume o.b. as per diameter.

Liitteessä V on esitetty aseteet, joilla on saatu korkeimmat sahausstuotot. Verrattaessa niitä koehausten aseteisiin havaitaan, että useissa edullisimmissa aseteissa on sivulautojen lukumäärä varsinkin pelkkakehällä, mutta myös jakokehällä suurempi kuin koehausaseteissa. Myös pelkan ja sydäntavaran dimensioissa havaitaan eroja.

Lopuksi vielä verrataan läpimitan mukaisia kokonaistuottoja Heiskasen (1976) ja Useniuksen ym. (1987) tutkimusten vastaaviin tuloksiin. Vertailu tehdään suhteellisesti siten, että läpimittaluokan 150 mm kokonaistuotot saavat arvons sata. Vertailussa on otettava huomioon, että Heiskasen (1976) tutkimuksessa on käytetty kahden sentin tasaavaa läpimitan luokitusta, Useniuksen ym. (1987) tutkimuksessa minimiläpimittaa ja tässä tutkimuksessa keskimääräistä läpimittaa. Vertailuun aiheuttaa epä tarkkuutta myös se, että Useniuksen ym. (1987) tulokset on laskettu kuvan perusteella. Koska tämän tut-

#### INDEKSI INDEX



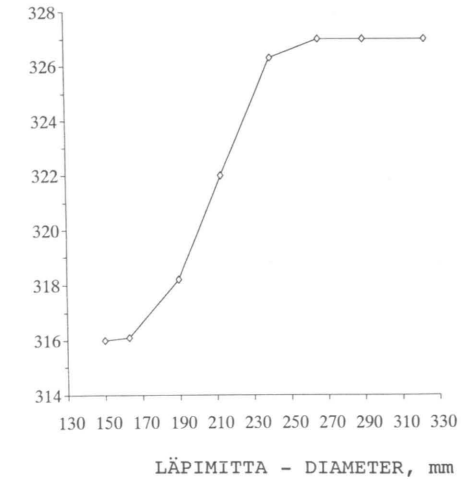
Kuva 23. Kokonaistuotot tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan tässä (T), Heiskasen (1976) (H) ja Useniuksen ym. (1987) (U) tutkimuksessa. Fig. 23. Total revenues per log volume o.b. as per diameter in this study (T), the study by Heiskanen (1976) (H) and the study by Usenius et al. (1987) (U).

kimuksen kaikki läpimittaluokat eivät vastaa vertailututkimusten läpimittaluokkia, on puuttuvien luokkien tulokset interpoloitu lineaarisesti kahden lähimmän läpimittaluokan tuloksista. Tulokset eri tutkimusten kokonaistuottojen vertailusta on esitetty kuvassa 23.

Kaikkien tutkimusten kokonaistuotot lisääntyivät läpimitan kasvaessa. Riippuvuus on tässä ja Heiskasen (1976) tutkimuksessa lähes samanlainen. Sen sijaan Useniuksen ym. (1987) tutkimuksessa läpimitan vaikutus on muihin verrattuna noin kaksinkertainen. Ero on verraten suuri ja yhtenä syynä siihen on ilmeisesti erilainen tutkimustekniikka. Tämän ja Heiskasen (1976) tutkimuksen tekniikka on lähempänä toisiaan. Niissä mm. oletettiin, että sahatavaran laatu jakauma on sama, jos dimensio on sama. Kuitenkin useissa tutkimuksissa (esim. Kärkäinen 1980 a) on todettu, että saman dimensioisen laudan laatu paranee läpimitan kasvaessa. Useniuksen ym. (1987) tutkimuksessa tämä vaikutus on tuloksissa mukana. Edellä mainittu ilmiö voi kuitenkin selittää vain osan havaitusta

#### RAAKA-AINEKUSTANNUKSET RAW MATERIAL COSTS

mk/m<sup>3</sup>



Kuva 24. Raaka-ainekustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Fig. 24. Raw material costs per log volume o.b. as per diameter.

erosta. Luultavin eron syy on tutkimusten erilainen aineisto sekä erilaiset sahatavaran hinta-asteikot ja laatuajakaumat.

#### 5.3 Sahauksen kustannukset läpimittaluokittain

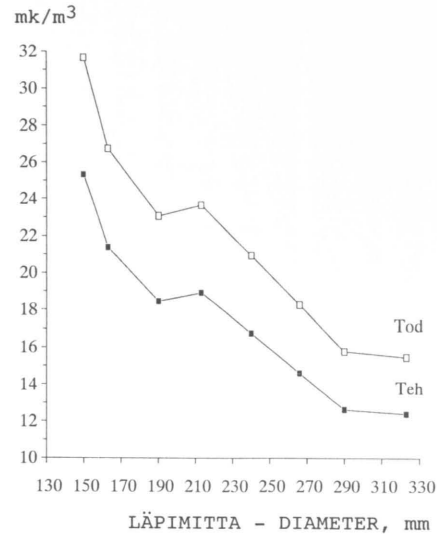
##### 5.3.1 Raaka-ainekustannukset

Kun raaka-aineen tilavuuteen yhdistetään hintasuositussopimuksen mukaiset järeyskertoimilla korjatut yksikköhinnat, saadaan läpimittaluokittaiset raaka-ainekustannukset. Kuvassa 24 on esitetty sahan raaka-ainekustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Kuvaaajan muotoon vaikuttaa laskutavasta johtuen yksinomaan hintasuositussopimuksen sisältö.

Kuvasta 24 havaitaan, että vuoden 1989/90 hintasuositusta sovellettaessa raaka-ainekustannukset kohosivat läpimitan kasvaessa ja saavuttivat korkeimman arvonsa luokassa 256–268 mm. Korkeimmat raaka-ainekustannukset 327,0 mk/m<sup>3</sup> (3 suurinta luokkaa) ovat vain 3,5 %



**TYÖVOIMAKUSTANNUKSET**  
**LABOUR COSTS**



Kuva 25. Työvoimakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Työvoimakustannukset on laskettu tehollisen (Teh) ja todellisen (Tod) sahausajan mukaan.

Fig. 25. Labour costs per log volume o.b. as per diameter. Cost calculated per effective (Teh) and actual (Tod) sawing time.

suuremmat kuin alhaisimmat kustannukset 316,0 mk/m<sup>3</sup> (luokka 133–152 mm). Keskimäärin raaka-ainekustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti olivat 322,5 mk.

Näin laskettuja raaka-ainekustannuksia selitti parhaiten läpimitta toisen asteen yhtälön muodossa.

$$\text{RaaKus} = 280,85 + 0,296 d - 0,000469 d^2$$

(R<sup>2</sup> = 94,98 % n = 8)

jossa RaaKus = raaka-ainekustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m<sup>3</sup>  
d = kuoreton latvaläpimitta, mm

Kuten aiemmin todettiin (s. 14), käytetyt raaka-aineen hinnat ovat sopimusluonteisia ja läpimitan merkitys tulee niissä esille todellista pienempänä. Ne ovat kuitenkin käytännössä sovellettavat hinnat, joten ne ovat todellisia hintoja.

**5.3.2. Työvoimakustannukset**

Työvoimakustannukset saadaan, kun työtuntikustannukset jaetaan sahausteholla. Työvoimakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti on esitetty kuvassa 25. Kustannukset on laskettu tehollisen ja todellisen sahausajan mukaan.

Tehollisena sahausaikana työvoimakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti alenivat pienimmän läpimittaluokan 25,3 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 12,4 mk:aan/m<sup>3</sup> ja olivat keskimäärin 17,5 mk/m<sup>3</sup>.

Todellisena sahausaikana työvoimakustannukset ovat tarkalleen 25 % suuremmat kuin tehollisena sahausaikana, koska seisokki vaikuttaa suoraan todellisen sahausajan työvoimakustannuksiin. Tällöin ne alenivat pienimmän läpimittaluokan 31,6 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 15,5 mk:aan/m<sup>3</sup> ja olivat keskimäärin 21,9 mk/m<sup>3</sup>.

Kuvasta 25 havaitaan, että työvoimakustannukset alenivat läpimitan kasvaessa läpimittaluokkaa 204–216 mm lukuun ottamatta. Kyseisen luokan edellistä luokkaa korkeammat työvoimakustannukset johtuvat sahaustehosta, koska työvoiman hintana on kiinteä tuntipalkka. Kyseisessä luokassa todettiin aiemmin (s. 31) edellistä luokkaa alempi sahausteho, joka ilmeisesti johtuu pelkkäkähän suuresta asetekorkeudesta.

Työvoimakustannuksia selittävään yhtälöön saatiin työtuntikustannus, sahausteho ja seisokki. Yhtälö sai muodon.

$$\text{TyöKus} = \frac{\text{TyöTKus}}{\frac{(60 - \text{Sek}) \text{St}}{60}}$$

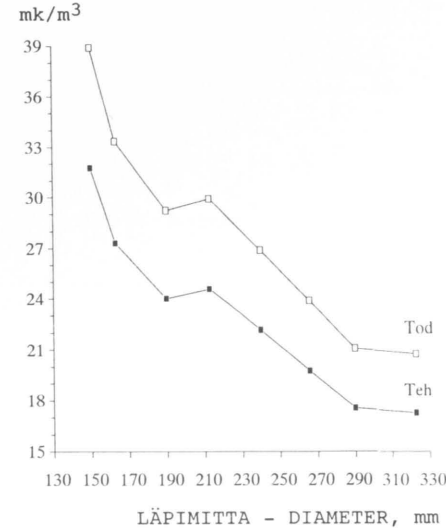
jossa TyöKus = työvoimakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m<sup>3</sup>  
TyöTKus = työtuntikustannus, mk/h  
Sek = seisokkien kokonaiskesto tunnissa, min  
St = sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena, m<sup>3</sup>/h

**5.3.3 Pääomakustannukset**

Pääomakustannukset saadaan, kun rakennusten ja koneiden poistot ja korkokustannukset laskeaan yhteen ja jaetaan sahausteholla sekä lisätään siihen raaka-ainevaraston aiheuttamat korkokustannukset. Pääomakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti on esitetty kuvassa 26. Pääomakustannukset on laskettu tehollisen ja todellisen sahausajan mukaan.

Tehollisena sahausaikana pääomakustannukset alenivat läpimitan kasvaessa pienimmän lä-

**PÄÄOMAKUSTANNUKSET**  
**CAPITAL COSTS**



Kuva 26. Pääomakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Pääomakustannukset on laskettu tehollisen (Teh) ja todellisen (Tod) sahausajan mukaan.

Fig. 26. Capital costs per log volume o.b. as per diameter. Costs calculated per effective (Teh) and actual (Tod) sawing time.

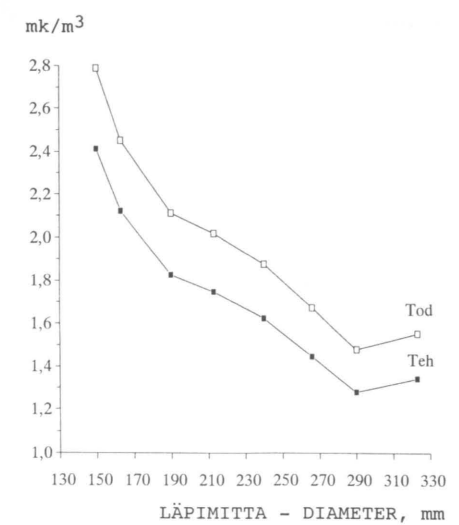
pimittaluokan 31,8 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 17,2 mk:aan/m<sup>3</sup> ja olivat keskimäärin 23,0 mk tukin kuorellista tilavuutta kohti.

Todellisena sahausaikana pääomakustannukset alenivat pienimmän läpimittaluokan 38,9 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 20,7 mk:aan/m<sup>3</sup> ja olivat keskimäärin 28,0 mk/m<sup>3</sup>. Tehollisen sahausajan mukaisiin pääomakustannuksiin verrattuna todellisen sahausajan pääomakustannukset ovat noin 25 % korkeammat. Raaka-ainevaraston korkokustannukset aiheuttavat hieman poikkeamista 25 %:sta.

Läpimittaluokassa 204–216 mm havaitaan edellistä luokkaa korkeammat pääomakustannukset. Syy on sama kuin jo työvoimakustannusten tarkastelussa todettiin eli kyseisen luokan satunnaisesti asetteesta johtuva alhainen sahausteho.

Pääomakustannuksia selittävään yhtälöön saatiin käyttöomaisuuskustannus, raaka-aineen korkokustannus, sahausteho ja seisokki. Yhtälö oli seuraava.

**SÄHKÖENERGIAKUSTANNUKSET**  
**ELECTRIC POWER COSTS**



Kuva 27. Sähköenergian kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Sähköenergian kustannukset on laskettu tehollisen (Teh) ja todellisen (Tod) sahausajan mukaan.

Fig. 27. Costs of electric power per log volume o.b. as per diameter. Costs calculated per effective (Teh) and actual (Tod) sawing time.

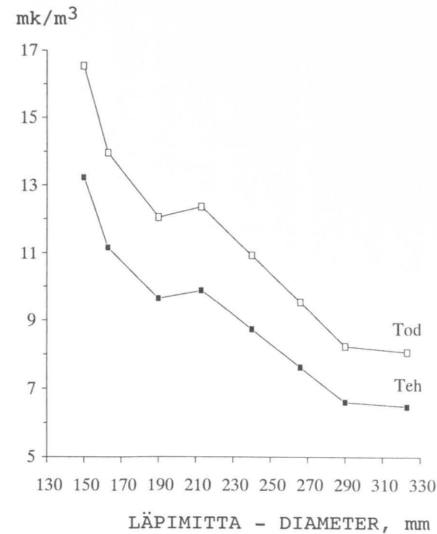
$$\text{PääKus} = \frac{\text{KäyKus}}{\frac{(60 - \text{Sek}) \text{St}}{60}} + \text{RaKKus}$$

jossa PääKus = pääomakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m<sup>3</sup>  
KäyKus = käyttöomaisuuskustannus tuntia kohti, mk/h  
Sek = seisokkien kokonaiskesto tunnissa, min  
St = sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena, m<sup>3</sup>/h  
RaKKus = raaka-aineen korkokustannus tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m<sup>3</sup>

**5.3.4 Energiakustannukset**

Aiemmin on tarkasteltu erikseen sähköenergian kulutusta. Kun sähkönkulutukseen yhdistetään sen hinta, saadaan energiakustannukset. Sähköenergian kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 27. Sähköenergian kustannukset on laskettu tehollisen ja todellisen sahausajan mukaan.

**MUUT KUSTANNUKSET  
OTHER COSTS**



Kuva 28. Muut kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Muut kustannukset on laskettu tehollisen (Teh) ja todellisen (Tod) sahausajan mukaan.

Fig. 28. Other costs per log volume o.b. as per diameter. Costs calculated per effective (Teh) and actual (Tod) saving time.

Tehollisena sahausaikana sähköenergian kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti alenivat pienimmän läpimittaluokan 2,4 mk:sta/m<sup>3</sup> toiseksi suurimman luokan 1,3 mk:aan/m<sup>3</sup> ja olivat keskimäärin 1,7 mk/m<sup>3</sup>.

Todellisena sahausaikana sähköenergian kustannukset alenivat pienimmän luokan 2,8 mk:sta/m<sup>3</sup> toiseksi suurimman luokan 1,5 mk:aan/m<sup>3</sup> ja olivat keskimäärin 2,0 mk/m<sup>3</sup>.

Koska seisokki vaikuttaa suoraan todellisen sahausajan sähköenergian kustannuksiin, ovat ne tarkalleen 15 % suuremmat kuin tehollisena sahausaikana. Vastaava ero oli työvoimakustannuksissa 25 % ja pääomakustannuksissa noin 25 %. Sähköenergian tehollisena ja todellisen sahausajan kustannusten pienempään eroon on syynä se, että myös seisokkien aikana kuluu sähköenergiaa.

Koska sähköllä on kiinteä kilowattituntihinta, vaikuttavat sähköenergian kustannuksiin samat tekijät kuin sähkönkulutukseen. Näitä tekijöitä on käsitelty jo aiemmin (s. 33).

Energiakustannuksia selittävään yhtälöön saa-

tiin sähköenergian kulutus, sähkön hinta, seisokkien kokonaiskesto, sähköenergian kulutusosuus seisokin aikana ja sahausteho. Seisokeista on tiedettävä siis yksittäisen seisokin kesto ja niiden kokonaiskesto. Yhtälö sai muodon.

$$\text{EnerKus} = \frac{\text{Sek Eo EkT Eh}}{60 \cdot 100 (60 - \text{Sek}) \text{St}} + \frac{(60 - \text{Sek}) \text{EkT Eh}}{60 (60 - \text{Sek}) \text{St}}$$

$$= \frac{\text{Sek Eo EkT Eh}}{100 (60 - \text{Sek}) \text{St}} + \frac{\text{EkT Eh}}{\text{St}}$$

jossa EnerKus = energiakustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m<sup>3</sup>  
 Sek = seisokkien kokonaiskesto tunnissa, min  
 EkT = sähköenergian kulutus tunnissa tehollisena sahausaikana, kWh/h  
 Eh = sähköenergian hinta, mk/kWh  
 Eo = sähköenergian kulutusosuus seisokkien aikana tehollisen sahausajan sähköenergian kulutuksesta, %  
 St = sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena, m<sup>3</sup>/h

Seisokkien sähköenergian kulutusosuus lasketaan sivulla 37 esitetyn yhtälön mukaisesti.

**5.3.5 Muut kustannukset**

Muut kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti saadaan, kun muiden kustannusten tuntikustannus jaetaan sahausteholla. Ne on esitetty kuvassa 28. Muut kustannukset on laskettu siinä sekä tehollisen että todellisen sahausajan mukaan.

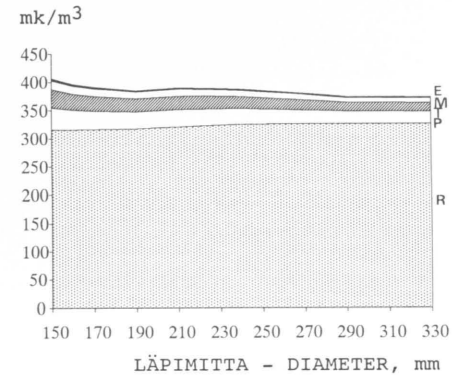
Tehollisena sahausaikana muut kustannukset alenivat läpimitan kasvaessa pienimmän läpimittaluokan 13,2 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 6,5 mk:aan/m<sup>3</sup>. Keskimäärin muut kustannukset olivat 9,2 mk/m<sup>3</sup>.

Todellisena sahausaikana muut kustannukset ovat tarkalleen 25 % korkeammat kuin tehollisena sahausaikana, koska seisokit vaikuttavat suoraan todellisen sahausajan muihin kustannuksiin. Tällöin ne alenivat pienimmän läpimittaluokan 16,5 mk:sta/m<sup>3</sup> suurimman luokan 8,1 mk:aan/m<sup>3</sup>. Keskimäärin muut kustannukset olivat 11,5 mk/m<sup>3</sup>.

Läpimittaluokan 204–216 mm edellistä luokkaa korkeampiin kustannuksiin on syynä, kuten työvoima- ja pääomakustannusten tarkastelun yhteydessä jo todettiin, kyseisen luokan satunnaisesti asetteesta johtuva alhainen sahausteho.

Muita kustannuksia selittävään yhtälöön saatiin muut kustannukset tuntia kohti, sahausteho ja seisokki. Seisokeista vaikuttaa niiden yhteiskesto. Yhtälö oli seuraava.

**KOKONAISKUSTANNUKSET  
TOTAL COSTS**



Kuva 29. Kokonaiskustannukset (raaka-aine- (R), pääoma- (P), työvoima- (T) ja energiakustannukset (E) sekä muut kustannukset (M)) todellisena sahausaikana tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan.

Fig. 29. Total costs (raw material costs (R), capital costs (P), labour costs (T), energy costs (E) and other costs (M)) in terms of actual sawing time per log volume o.b. as per diameter.

$$\text{MuuKus} = \frac{\text{MuuTKus}}{(60 - \text{Sek}) \text{St}} \cdot 60$$

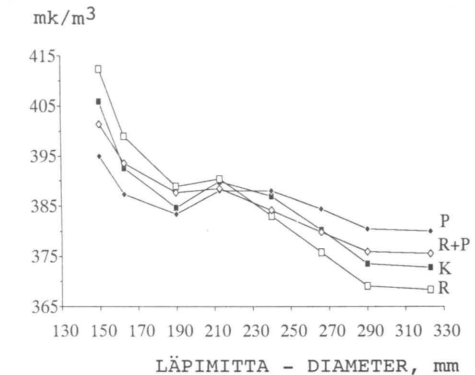
jossa MuuKus = muut kustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m<sup>3</sup>  
 MuuTKus = muut kustannukset tuntia kohti, mk/h  
 Sek = seisokkien kokonaiskesto tunnissa, min  
 St = sahausteho tukkien kuorellisena tilavuutena, m<sup>3</sup>/h

**5.3.6 Kokonaiskustannukset**

Edellä on käsitelty eri kustannuksia erikseen, ja kun kaikki kustannukset yhdistetään, saadaan sahausuksen kokonaiskustannukset. Kokonaiskustannukset tukin kuorellista tilavuutta kohti on esitetty kuvassa 29. Kustannukset on laskettu todellisena sahausaikana.

Kokonaiskustannukset alenivat 405,9 mk:sta/m<sup>3</sup> (luokka 133–152 mm) 372,8 mk:aan/m<sup>3</sup> (luokka 307–331 mm) ja olivat keskimäärin 385,8 mk/m<sup>3</sup>. Suurimmat kokonaiskustannukset ovat 33,1 mk/m<sup>3</sup> (8,9 %) alimpia kustannuksia korkeammat. Eniten edellä mainittuun kokonaiskustannusten absoluuttiseen eroon (33,1 mk/m<sup>3</sup>) vaikuttavat pääomakustannukset, joiden pienim-

**KOKONAISKUSTANNUKSET  
TOTAL COSTS**



Kuva 30. Läpimitan mukaiset kokonaiskustannukset (K) sekä kokonaiskustannukset kun raaka-ainekustannukset (R), pääomakustannukset (P) tai raaka-aine- ja pääomakustannukset (R+P) on vakioitu.

Fig. 30. Total costs (K) as per diameter and total costs when the raw material costs (R), capital costs (P) or raw material costs plus capital costs (R+P) have been made constant.

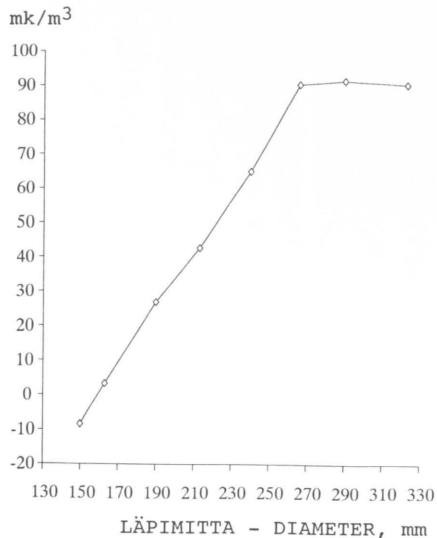
män läpimittaluokan kustannukset ovat 18,2 mk/m<sup>3</sup> suurimman luokan kustannuksia korkeammat. Työvoimakustannusten vastaava ero on 16,1 mk/m<sup>3</sup> ja muiden kustannusten 8,4 mk/m<sup>3</sup>. Energiakustannukset lisäävät pienimmän läpimittaluokan kokonaiskustannuksia ainoastaan 1,3 mk/m<sup>3</sup> suurimpaan luokkaan verrattuna. Läpimitan vaikutusta kokonaiskustannuksiin taas heikentää raaka-ainekustannusten kohoaminen läpimitan kasvaessa. Pienimmän läpimittaluokan raaka-ainekustannukset ovat 11,0 mk/m<sup>3</sup> suurimman läpimittaluokan kustannuksia korkeammat.

Kuten kuvasta 29 havaitaan valtaosan, keskimäärin 83,5 % kokonaiskustannuksista, muodostavat raaka-ainekustannukset. Toiseksi suurin osuus on pääomakustannusten 7,3 %. Sen jälkeen tulee työvoimakustannusten 5,7 % ja muiden kustannusten 3,0 %. Pienimmän osuuden kokonaiskustannuksista muodostavat energiakustannukset, joiden osuus on ainoastaan 0,5 %.

Pääomakustannusten ja osittain myös muiden kustannusten osuus riippuu voimakkaasti käytöstä. Heikkojen suhdanteiden aikana niiden osuudet kokonaiskustannuksista voivat olla huomattavasti korkeammat kuin em. hieman yli 7 % ja 3 %.

Eri kustannuksiin on todettu jo aiemmin vai-

TALOUDELLINEN TULOS  
FINANCIAL RESULT



Kuva 31. Sahausten taloudellinen tulos tukin kuorellista tilavuutta kohti läpimitan mukaan. Kustannukset on laskettu todellisen sahausajan mukaan.

Fig. 31. Financial result of sawing per log volume o.b. as per diameter. Costs computed according to actual sawing time.

kuttavan hyvin monen eri tekijän. Tämän vuoksi kokonaiskustannuksia ei pystytä selittämään vain muutamalla tekijällä, vaan kustannukset on otettava mukaan erillistekijöinä.

Jo aiemmin on todettu (s. 15), että joidenkin kustannusten, kuten pääomakustannusten, voidaan perustellusti olettaa lähes kokonaisuudessaan olevan myös läpimitasta riippumattomia. Koska raaka-aine ostetaan yleensä leimikoittain samalta hankinta-alueelta, saadaan aina sekä pieniä että suuria tukkeja ja niiden tilavuusjakauma pysyy samantapaisena vuodesta toiseen. Tällä perusteella myös raaka-ainekustannusten voitaisiin olettaa olevan läpimitasta riippumattomia. Kuvassa 30 on esitetty kokonaiskustannukset sekä kokonaiskustannukset, kun pääoma- ja raaka-ainekustannukset tai molemmat on oletettu läpimitasta riippumattomiksi.

Koska raaka-ainekustannukset kohosivat läpimitan kasvaessa, niiden vakioiminen lisää pienuimpien ja suurimpien kokonaiskustannusten välistä eroa. Ero on 12,0 % (44,0 mk/m³), kun se alkuperäisillä kokonaiskustannuksilla on 8,9 %

(33,1 mk/m³). Pääomakustannusten oletaminen läpimitasta riippumattomiksi sitä vastoin vähentää läpimitan vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Tällöin pienimpien ja suurimpien kokonaiskustannusten ero on 3,9 % (14,9 mk/m³). Kun sekä raaka-aine- että pääomakustannukset vakioidaan, ovat suurimmat kokonaiskustannukset 6,9 % (25,9 mk/m³) pienimpiä kokonaiskustannuksia korkeammat eli myös tällöin läpimitan vaikutus kokonaiskustannuksiin vähenee.

#### 5.4 Sahausten taloudellinen tulos läpimitaluokittain

Kun sahausten kokonaistuotoista vähennetään kokonaiskustannukset, saadaan sahausten taloudellinen tulos. Taloudellinen tulos laskettiin todellisena sahausajana eli siinä otettiin huomioon myös seisokkien vaikutus. Sahausten taloudellinen tulos läpimitan mukaan on esitetty kuvassa 31.

Kuvasta 31 havaitaan, että sahausten taloudellinen tulos parani läpimitan kasvaessa. Korkein tulos oli 91,8 mk/m³ (luokka 281–293 mm) ja alhaisin -8,4 mk/m³ (luokka 133–152 mm). Keskimäärin sahausten taloudellinen tulos oli 50,4 mk tukin kuorellista tilavuutta kohti. Nollaraja sijaitsee suunnilleen läpimitan 160 mm kohdalla.

Suurimman läpimitaluokan taloudellinen tulos on 99,1 mk/m³ pienimmän läpimitaluokan tulosta korkeampi. Tästä erosta selittävät sahausten tuotot 66,0 mk/m³ ja sahausten kustannukset 33,1 mk/m³.

Läpimitan vaikutusta sahausten taloudelliseen tulokseen tutkittiin regressioanalyysillä. Parhaiten läpimita selitti sahausten taloudellista tulosta toisen asteen muodossa. Yhtälö oli seuraava.

$$TaTul = -258,03 + 2,118 d - 0,00317 d^2$$

(R<sup>2</sup> = 98,36 % n = 8)

jossa TaTul = sahausten taloudellinen tulos tukin kuorellista tilavuutta kohti, mk/m³  
d = kuoreton latvaläpimita, mm

#### 5.5 Tuottojen ja kustannusten vaikutus sahausten taloudelliseen tulokseen

Sahateollisuuden kannattavuusongelman ratkaisemisen kannalta on hyödyllistä tietää eri kustannusten ja tuottojen merkitys kokonaisuuden kannalta. Siksi on laskettu kuinka paljon eri tuottojen on kohottava tai kustannusten alennuttava, että niiden vaikutus sahausten taloudelliseen tulokseen on yhtä suuri. Vertailutekijäksi

Taulukko 10. Eri tuottojen ja kustannusten vaikutus sahausten taloudelliseen tulokseen verrattuna sahatavaratuottojen vaikutukseen. Tulokset on laskettu erikseen pienille tukeille (läpimitaluokka 133–152 mm), isoille tukeille (läpimitaluokka 307–331 mm) sekä kaikille tukeille.

Taule 10. Influence of different revenues and costs on the financial result of sawing in comparison to the influence of revenues from selling sawn goods. The results have been calculated separately for small-sized logs (diameter class 133–152 mm), big logs (diameter class 307–331 mm) and all logs.

Muuttuja – Variable	Sahatavaratuottojen kohoaminen, % – Increasing sawn goods revenues, %					
	1	3	5	10	15	20
Tuottojen ja kustannusten muutokset, % – Changes in revenues and costs, %						
<b>Haketuotot :</b>						
<i>Chip revenues:</i>						
Pienet tukit – Small logs	3,3	10,0	16,7	33,5	50,2	66,9
Isot tukit – Big logs	5,2	15,7	26,1	52,2	78,3	104,5
Kaikki – All	4,6	13,7	22,8	45,6	68,5	91,3
<i>Purutuotot:</i>						
<i>Sawdust revenues</i>						
Pienet tukit – Small logs	29,1	87,3	145,6	291,1	436,7	582,3
Isot tukit – Big logs	54,7	164,1	273,5	547,0	820,5	1093,9
Kaikki – All	42,4	127,1	211,9	423,8	635,7	847,7
<i>Kuorituotot:</i>						
<i>Bark revenues:</i>						
Pienet tukit – Small logs	171,8	515,4	859,0	1718,0	2577,0	3435,9
Isot tukit – Big logs	106,3	319,0	531,7	1063,4	1595,2	2126,9
Kaikki – All	120,5	361,4	602,4	1204,8	1807,1	2409,5
<i>Raaka-ainekustannukset:</i>						
<i>Raw material costs:</i>						
Pienet tukit – Small logs	-0,9	-2,8	-4,7	-9,4	-14,1	-18,8
Isot tukit – Big logs	-1,2	-3,5	-5,8	-11,6	-17,4	-23,2
Kaikki – All	-1,1	-3,2	-5,4	-10,8	-16,2	-21,6
<i>Pääomakustannukset:</i>						
<i>Capital costs:</i>						
Pienet tukit – Small logs	-7,6	-22,9	-38,1	-76,3	-114,4	-152,6
Isot tukit – Big logs	-18,3	-55,0	-91,7	-183,3	-275,0	-366,6
Kaikki – All	-12,5	-37,4	-62,3	-124,5	-186,8	-249,0
<i>Työvoimakustannukset:</i>						
<i>Labour costs:</i>						
Pienet tukit – Small logs	-9,4	-28,1	-46,9	-93,8	-140,7	-187,6
Isot tukit – Big logs	-24,6	-73,8	-122,9	-245,9	-368,8	-491,7
Kaikki – All	-15,9	-47,7	-79,5	-159,0	-238,5	-318,0
<i>Muut kustannukset:</i>						
<i>Other costs:</i>						
Pienet tukit – Small logs	-18,0	-53,9	-89,8	-179,6	-269,4	-359,2
Isot tukit – Big logs	-47,1	-141,3	-235,4	-470,9	-706,3	-941,7
Kaikki – All	-30,4	-91,3	-152,2	-304,5	-456,7	-608,9
<i>Energiakustannukset:</i>						
<i>Power costs:</i>						
Pienet tukit – Small logs	-106,5	-319,4	-532,3	-1064,6	-1596,8	-2129,1
Isot tukit – Big logs	-244,6	-733,9	-1223,1	-2446,3	-3669,4	-4892,5
Kaikki – All	-174,9	-524,6	-874,4	-1748,8	-2623,2	-3497,6

valittiin sahatavaratuotot, jotka ovat kokonaisuuden kannalta tärkeimmät. Tulokset on laskettu erikseen pienille tukeille (läpimitaluokka 133–152 mm), isoille tukeille (läpimitaluokka 307–331 mm) sekä kaikille tukeille. Kustannukset on laskettu todellisen sahausajan mukaan, jolloin seisokkien vaikutus on mukana.

Tulokset on esitetty taulukossa 10.

Tarkasteltaessa ensin kaikkien tukkien tuloksia havaitaan, että esim. sahatavaratuottojen 5 %:n (17,4 mk:n/m³) lisääntymistä vastaa haketuottojen noin 23 %:n, purutuottojen noin 210 %:n ja kuorituottojen peräti yli 600 %:n kohoaminen.

Kustannuksista raaka-ainekustannusten 5,4 %:n aleneminen vastaa sahatavaratuottojen 5 %:n kohoamista. Vastaavan suuruinen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen vaatii pääomakustannusten yli 60 %:n, työvoimakustannusten lähes 80 %:n, muiden kustannusten noin 150 %:n ja energiakustannusten peräti noin 870 %:n alenemista.

Kun tarkastellaan tuloksia tukin koon mukaan havaitaan, että sahatavaratuottojen tietyn suuruista suhteellista muutosta vastaava tuottojen ja kustannusten muutos on isoilla tukeilla kuori-  
tuottoja lukuun ottamatta pieniä tukkeja suurempi.

Hake- ja purutuotoilla pienten tukkien muutokset ovat runsas puolet suurten tukkien muutoksesta. Kuori-  
tuotoilla taas pienten tukkien muutos on noin 1,6-kertainen suuriin tukkeihin verrattuna.

Raaka-ainekustannuksilla suurten tukkien ero pieniin tukkeihin verrattuna (1,3-kertainen) on huomattavasti vähäisempi kuin muilla kustannuksilla ja tuotoilla. Pääoma-, työvoima- ja energiakustannuksilla sekä muilla kustannuksilla isojen tukkien muutoksen on oltava noin 2,5-kertainen pienten tukkien muutokseen verrattuna, jotta vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen vastaa tietyn suuruista sahatavaratuottojen muutosta.

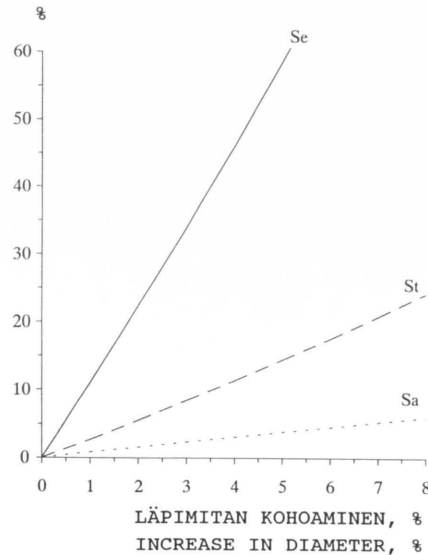
Tulosten mukaan sahausksen taloudellista tulosta voidaan parantaa huomattavasti ainoastaan sahatavaratuottoja kohottamalla tai raaka-ainekustannuksia alentamalla.

### 5.6 Lämpimitan, saannon, seisokin ja sahaustehon vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen

Jo aiemmasta käsittelystä on käynyt ilmi, että tukin läpimitan suureneminen parantaa sahausksen taloudellista tulosta. Saannon kasvu taas lisää sahausksen kokonaistuottoja. Sahaustehon kasvu alentaa työvoima-, pääoma- ja energiakustannuksia sekä muita kustannuksia. Seisokkien vähentämisellä on sahaustehon kasvua vastaava vaikutus. Laitoksen kannattavuuden kannalta on tärkeä tuntea eri tekijöiden suhteellinen vaikutus tulokseen.

Seuraavassa onkin laskettu kuinka paljon läpimitan, saannon, ja sahaustehon on lisäennytävä tai seisokkien vähennettävä, että niiden vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen on yhtä suuri. Eri tekijöiden muutoksen suuruus on laskettu suhteellisesti ja muutoksen absoluuttinen arvo on esitetty sulkeissa. Laskenta suoritetaan

### TEKIJÖIDEN KOHOAMINEN/VÄHENEMINEN INCREASE/DECREASE IN FACTORS



Kuva 32. Saannon (Sa) ja sahaustehon (St) kohoamisen tai seisokkien (Se) vähentämisen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen verrattuna läpimitan kasvun vaikutukseen. Tekijöiden muutokset on laskettu suhteellisenä osuutena kunkin tekijän keskimääräisestä arvosta.

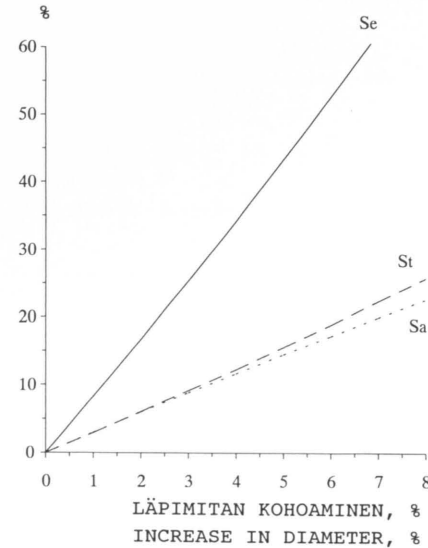
Fig. 32. Influence of an increase in yield (Sa) and sawing efficacy (St) or of decrease in stoppages (Se) on the financial result achieved in sawing as compared to the influence of an increase in diameter. The changes in these factors have been computed as relative proportions of the average value of each particular factor.

tuottojen ja kustannusten käsittelyn yhteydessä esitetyillä yhtälöillä. Lähtöarvoina käytetään sekä tutkimuksessa saatuja eri tekijöiden keskimääräisiä arvoja että niiden tutkimuksessa havaittuja vaihteluvälejä.

Kuvassa 32 on esitetty saannon, sahaustehon ja seisokkien muutoksen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen verrattuna läpimitan vaikutukseen. Tekijöiden muutokset on laskettu suhteellisenä osuutena kunkin tekijän keskimääräisestä arvosta.

Kuvaajien kulmakertoimet ilmaisevat niiden merkityksen verrattuna läpimitan merkitykseen. Mitä pienempi kulmakertoimen, sitä suurempi on tekijän merkitys saman suuruudella tekijöi-

### TEKIJÖIDEN KOHOAMINEN/VÄHENEMINEN INCREASE/DECREASE IN FACTORS



Kuva 33. Saannon (Sa) ja sahaustehon (St) kohoamisen tai seisokkien (Se) vähentämisen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen verrattuna läpimitan kasvun vaikutukseen. Tekijöiden muutokset on laskettu suhteellisenä osuutena kunkin tekijän havaitusta vaihteluvälillä.

Fig. 33. Influence of an increase in yield (Sa) and sawing efficacy (St) or of a decrease in stoppages (Se) on the financial result achieved in sawing as compared to the influence of an increase on diameter. The changes in these factors have been computed as relative proportions of the observed value of each particular factor.

den suhteellisella muutoksella. Esim. 5 %:n (11 mm:n) läpimitan kasvua vastaava saannon lisääntyminen on 3,9 % (1,8 %-yksikköä). Sahaustehon on kohottava läpimitaan verrattuna noin kolminkertaisesti (14,4 %, 7,1 m<sup>3</sup>/h), että muutos sahausksen taloudelliseen tulokseen on saman suuruinen. Seisokkien on vähennettävä peräti noin 60 % (7,2 min/h), että muutos on vastaava.

Verrattaessa sahaustehoa ja seisokkia toisiinsa havaitaan, että saman suuruinen muutos sahausksen taloudelliseen tulokseen vaatii seisokkien noin nelinkertaista muutosta sahaustehoon verrattuna. Vastaavasti seisokkien ja saannon välillä havaitaan, että muutos seisokeissa täytyy olla noin 15-kertainen saantoon verrattuna. Sa-

haustehon muutoksen saantoon verrattuna on oltava lähes nelinkertainen, jotta vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen on yhtä suuri.

Koska edellä mainittujen tekijöiden osalta ei esim. 5 %:n muutos ole yhtä helposti saavutettavissa, suoritetaan vielä tarkastelu, jossa muutoksen suuruus lasketaan suhteellisenä osuutena kunkin tekijän tutkimuksessa havaitusta vaihteluvälillä. Seisokeille käytettiin kuitenkin aiempia arvoja. Muuten laskenta suoritetaan vastaavalla tavalla kuin edellä. Tulokset on esitetty kuvassa 33.

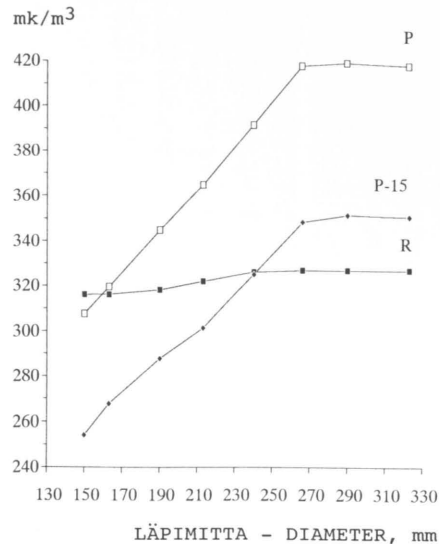
Kuvasta 33 havaitaan, että tällä tavalla tarkasteltuna läpimitan merkitys on saantoa suurempi. Esim. läpimitan 5 %:n (9 mm:n) suuruinen muutos vastaa saannon noin 15 %:n (1,4 %-yksikön) muutosta. Sahaustehon merkitys on pysynyt lähes ennallaan. Läpimitan 5 %:n suurenemista vastaa vaikutukseltaan sahaustehon noin 16 %:n (5,2 m<sup>3</sup>:n/h) kohoaminen. Seisokkien merkitys on jonkin verran lisääntynyt. Seisokkien lähes 45 %:n (5,2 min:n/h) väheneminen vastaa läpimitan 5 %:n kohoamista.

Verrattaessa sahaustehoa ja saantoa toisiinsa havaitaan, että sahaustehon ja saannon muutoksen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen on lähes yhtä suuri. Suurilla muutoksilla saannon merkitys hieman kasvaa sahaustehoon verrattuna. Vastaavasti seisokkien muutoksen on oltava lähes kolminkertainen saannon ja sahaustehon muutokseen verrattuna, jotta vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen olisi yhtä suuri.

### 5.7 Puustamaksukyky

Sahausten taloudelliseen tulokseen liittyy läheisesti puustamaksukyky, joka saadaan vähentämällä sahausksen kokonaistuotoista kokonaiskustannukset lukuun ottamatta raaka-ainekustannuksia. Puustamaksukyky voidaan tulkitä korkeimmaksi raaka-aineen hinnaksi, joka on mahdollista maksaa pitkällä aikavälillä. On kuitenkin otettava huomioon, että se korostaa puuraaka-aineen merkitystä, koska kaikki liiketoiminnassa syntyvä ylijäämä sijoitetaan raaka-aineen osalle. Puustamaksukykyä on kuitenkin mielenkiintoista verrata toteutuneisiin raaka-ainekustannuksiin. Kuvassa 34 on esitetty puustamaksukyky ja raaka-ainekustannukset läpimitan mukaan. Kuvaan on merkitty myös puustamaksukyky, kun sahatavaran hinta, jonka on todettu jo aiemmin olevan merkittävin sahausksen taloudelliseen tulokseen vaikuttava tekijä, on alentunut 15 % muiden tekijöiden pysyessä ennallaan. Sahtavaran vientihinnoissa on todettu



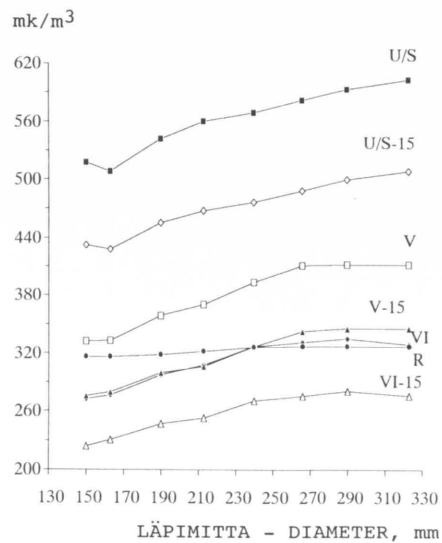


Kuva 34. Puustamaksukyky (P), puustamaksukyky, kun sahatavaran hinta on alentunut 15 % (P-15) sekä raaka-ainekustannukset (R) läpimitan mukaan.  
Fig. 34. Capacity to pay for timber (P), capacity to pay for timber when the prices paid for sawn goods have fallen by 15 % (P-15), and raw material costs (R) as per diameter.

1980-luvun loppupuolella 10–15 %:n muutoksia peräkkäisten vuosien välillä (Vuositilasto... 1991).

Kuvasta 34 havaitaan, että puustamaksukyky kohosi läpimitan kasvaessa pienimmän luokan 307,6 mk:sta/m<sup>3</sup> toiseksi suurimman luokan 418,8 mk:aan/m<sup>3</sup> ja oli keskimäärin 372,8 mk/m<sup>3</sup>. Keskimääräinen puustamaksukyky on siten huomattavasti keskimääräisiä raaka-ainekustannuksia (322,5 mk/m<sup>3</sup>) korkeampi. Pienimmässä läpimittaluokassa puustamaksukyky ei kuitenkaan riittänyt kattamaan raaka-ainekustannuksia. Tähän on suurimpana syynä pienimmän läpimittaluokan alhainen sahausteho, jolloin yksikkökustannukset ovat korkeat.

Kun puustamaksukykyä verrataan toteutuneisiin raaka-ainekustannuksiin, havaitaan puustamaksukyvyn eron raaka-ainekustannuksiin kasvavan jyrkästi läpimitan suuressa. Hintasuositussopimuksessa määritetty järeyden mukainen hintaporras ei siten näiden tulosten mukaan



Kuva 35. Eri sahatavara-alaatujen (U/S = u/s-laatu, V = kvintta ja VI = seksta) puustamaksukyky, niiden puustamaksukyky, kun sahatavaran hinta on alentunut 15 % (U/S-15, V-15 ja VI-15) sekä raaka-ainekustannukset läpimitan mukaan.  
Fig. 35. The capacities-to-pay of the various sawn goods grades (U/S = u/s grade, V = fifths and VI = sixths), the corresponding capacity-to-pay when the prices paid for sawn goods have fallen 15 % (U/S-15, V-15 and VI-15), and raw material costs per diameter.

vastaa sahan puustamaksukykyä. Pienten tukkien hinta on liian korkea sahan puustamaksukykyyn verrattuna. Suurista tukeista taas saha kykenisi maksamaan enemmänkin.

Kun sahatavaran hinta on alentunut 15 %, havaitaan puustamaksukyvyn alentuneen keskimäärin peräti 61,9 mk/m<sup>3</sup>. Tällöin jo yli puolet läpimittaluokista jäi puustamaksukyvyllään negatiiviksi. Tämä osoittaa sahatavaran hinnan tärkeän merkityksen puustamaksukykyyn. Jotta puustamaksukyky säilyisi entisellään, raaka-ainekustannusten olisi alennuttava 19,2 %.

Edellä esitetty puustamaksukyky on laskettu sahatavaran tavanomaisen laatujauman (liite I) mukaisesti. Kuitenkin esim. tukkien laatuvaatimuksia kiristämällä voitaisiin sahatavaran laatua parantaa. Tämän vuoksi on mielenkiintoista verrata eri sahatavara-alaatujen puustamak-

sukykyä. Ne on esitetty kuvassa 35. Tällöin sahatavaran tuottoja laskettaessa on oletettu, että sahatavara olisi kokonaisuudessaan joko u/s-, kvintta- tai sekstalaatuista. Muilta osin puustamaksukyky laskettiin kuten edellä. Myös sahatavara-alaatujen puustamaksukyky on laskettu 15 % alemmalla sahatavaran hinnalla.

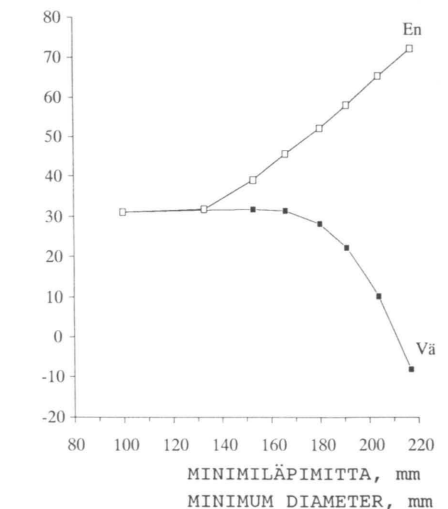
U/s-laatuisten sahatavaran puustamaksukyky (keskim. 559,7 mk/m<sup>3</sup>) ylittää huomattavasti keskimääräiset raaka-ainekustannukset. Myös kvinttasahatavaran puustamaksukyky (keskim. 378,1 mk/m<sup>3</sup>) ylittää raaka-ainekustannukset pienimmässäkin läpimittaluokissa. Sen sijaan sekstasahatavaran keskimääräinen puustamaksukyky, 309,6 mk/m<sup>3</sup>, jää keskimääräisiä raaka-ainekustannuksia alemmaksi. Kuitenkin neljässä suurimmassa läpimittaluokassa sekstasahatavaran puustamaksukyky ylittää raaka-ainekustannukset. Eri sahatavara-alaatujen puustamaksukyky kohoaa selvästi jyrkemmin läpimitan kasvaessa kuin raaka-ainekustannukset.

Kun sahatavaran hinta on alentunut 15 %, laskee u/s-sahatavaran keskimääräinen puustamaksukyky 469,6 mk:aan/m<sup>3</sup>. Kvinttasahatavaran puustamaksukyky (315,4 mk/m<sup>3</sup>) laskee tällöin jo keskimäärin alle raaka-ainekustannusten. Neljässä suurimmassa läpimittaluokassa raaka-ainekustannukset kuitenkin vielä ylittyvät. Sekstasahatavaran puustamaksukyky (keskim. 257,2 mk/m<sup>3</sup>) jää kaikissa läpimittaluokissa huomattavasti alle raaka-ainekustannusten, kun sahatavaran hinta on alentunut 15 %.

## 5.8 Eri tekijöiden vaikutus sahausksen vuositulokseen

### 5.8.1 Yleistä

Aiemmin on selvitetty eri tekijöiden vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen tukin kuorellista tilavuutta kohti. Koska joidenkin tekijöiden muutos vaikuttaa sahausksen taloudellisen tuloksen lisäksi sahausmäärään, on sahan kannattavuuden kannalta tärkeää tietää eri tekijöiden vaikutus myös sahausksen markkamääräiseen vuositulokseen. Sahausksen vuositulo saadaan yhdistämällä sahausmäärä tukkien tilavuutena ja sahausksen keskimääräinen taloudellinen tulos tukin tilavuutta kohti. Sahausksen keskimääräinen taloudellinen tulos laskettiin painotamalla läpimittaluokittaiset tulokset tukkien läpimittaluokittaisilla tilavuusosuuksilla (ks. s. 10, kuva 3). Koska koehaushaussa ei sahattu kaikkien läpimittaluokkien (ks. liite IV) tukkeja, interpoloitiin puuttuvien läpimittaluokkien tulok-



Kuva 36. Sahausksen taloudellinen tulos tukin kuorellista tilavuutta kohti minimiläpimitan mukaan. Tulokset on laskettu sekä olettaen tuotantoajan pysyvän ennallaan (En) että olettaen tuotantoajan vähenevän minimiläpimitan kohoamista vastaavan osuuden (Vä).

Fig. 36. Financial result achieved in sawing per log volume o.b. as per minimum diameter. The results have been computed assuming that both the production time will remain unchanged (En) and that the production time will decrease by an amount proportional to the increase in minimum diameters (Vä).

set lineaarisesti kahden lähimmän läpimittaluokan tuloksista. Näin laskien sahausksen taloudelliseksi tulokseksi saatiin 31,2 mk/m<sup>3</sup>. Sahausmäärää laskettaessa oletettiin, että koko vuosi sahattaisiin mäntytukkeja. Kun tuotantotunteja oli kaikkiaan 3500 ja seisokkien osuus oli 20 % kokonaissahaustajasta, saatiin kokonaissahausmääräksi 1 16 480 m<sup>3</sup> kuorellisia tukkeja. Yhdistämällä edellä mainittu sahausksen taloudellinen tulos ja sahausmäärä saatiin vuositulokseksi noin 3,6 milj. mk.

Kun seuraavassa tutkitaan eri tekijöiden muutoksen vaikutus sahausksen vuositulokseen, lasketaan ensin eri tekijöiden muutoksen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen tukin kuorellista tilavuutta kohti kussakin läpimittaluokassa erikseen. Puuttuvien läpimittaluokkien läh-

Taulukko 11. Minimiläpimitan mukainen sahausmäärä, vuositulo ja vuosituloero. Tulokset on laskettu sekä tuotantoajan säilyessä ennallaan että sen vähetessä minimiläpimitan kasvua vastaavan osuuden.

Table 11. Sawing volume, annual result and differences in annual result according to minimum diameter. The results have been calculated with production time remaining unchanged and with production time decreasing proportionately to an increase in the minimum diameter.

Minimiläpimitä, mm Minimum diameter, mm	Tuotantoaika alentunut Production time decreased			Tuotantoaika ennallaan Production time unchanged		
	Sahausmäärä, m <sup>3</sup> Sawing volume, m <sup>3</sup>	Vuositulo, mk Annual result, FIM	Vuosituloero, mk Annual result diff., FIM	Sahausmäärä, m <sup>3</sup> Sawing volume, m <sup>3</sup>	Vuositulo, mk Annual result, FIM	Vuosituloero, mk Annual result diff., FIM
100	116 480	3 634 176	0	116 480	3 634 176	0
110	115 979	3 636 120	1 944	117 423	3 692 055	57 879
120	115 478	3 637 913	3 737	118 365	3 750 391	116 215
130	114 977	3 639 553	5 377	119 308	3 809 185	175 009
140	108 897	3 459 645	-174 531	128 005	4 414 252	780 076
150	100 425	3 200 532	-433 644	140 025	5 325 851	1 691 675
160	89 684	2 841 615	-792 561	154 118	6 573 706	2 939 530
170	78 363	2 396 788	-1 237 388	168 396	8 008 419	4 374 243
180	67 628	1 913 872	-1 720 304	181 620	9 480 564	5 846 388
190	56 184	1 278 450	-2 355 726	195 291	11 241 655	7 607 479
200	46 104	640 487	-2 993 689	208 719	13 166 982	9 532 806
210	37 612	64 229	-3 569 947	221 536	15 171 787	11 537 611
220	30 190	-496 270	-4 130 446	234 178	17 323 757	13 689 581

tärvot interpoloidaan lineaarisesti kahden lähimmän luokan tuloksista. Lopuksi painotetaan läpimitaluokittaiset tulokset niiden tilavuusosuuksilla ja kerrotaan näin saatu sahausksen taloudellinen tulos sitä vastaavalla sahausmäärällä, jolloin saadaan selville eri tekijöiden muutoksen vaikutus vuositulokseen.

Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että raaka-aineen ja sahatavaran hinnan oletettiin olevan riippumattomia sahausmäärästä. Kuitenkin esim. sahausmäärän kohotessa raaka-ainetta joudutaan hankkimaan ehkä laajemmalta alueelta, jolloin sen hinta kohoaa mm. pitempien kuljetusetäisyyksien ja lisääntyneen kysynnän vuoksi. Samoin sahatavaran tarjonnan kasvu vaikuttanee alentavasti hintatasoon. Raaka-aineen ja sahatavaran hinnan vakioinnin merkitystä tuloksiin ei pystytty selvittämään.

### 5.8.2 Minimiläpimitä

Ensimmäisenä tutkittiin vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen ja vuositulokseen, kun alinta sahauskseen hyväksyttävää tukin latvaläpimitä (minimiläpimitä) nostetaan. Tulokset laskettiin sekä olettaen muiden luokkien tuotantoajan kasvavan niiden tilavuusosuuksien suhteessa poisjäävän luokan tuotantoajalla että olettaen tuotantoajan vähenevän poisjäävien läpimitaluokkien osuudella. Poisjäävän tuotan-

toajan sahan oletettiin olevan pysähdyksissä ja työvoiman lomautettuna, jolloin työvoimakustannuksia ei tältä ajalta muodostu. Myöskään energiakustannuksia ei oletettu syntyvän tänä aikana. Pääomakustannuksista muodostuu käyttöomaisuuskustannuksia myös pysähdysten aikana. Sen sijaan käyttöpääomakustannuksia ei oletettu syntyvän pysähdysten aikana. Muista kustannuksista laskettiin 90 % olevan työvoimakustannusten luonteisia, joista ei siis muodostu kustannuksia sahan ollessa pysähdyksissä. Loput 10 % oli käyttöomaisuuskustannusten luonteisia kustannuksia eli niistä aiheutuu sahalle kustannuksia myös pysähdysten aikana.

Aiemman perusteella tiedetään, että tukin läpimitan (minimiläpimitan) kasvaessa kohoavat sahausksen tuotot ja raaka-ainekustannukset tukin tilavuutta kohti. Työvoima- ja energiakustannukset alenevat. Myös pääomakustannukset alenevat, jos tuotantoaika säilyy ennallaan. Mutta jos tuotantoaika vähenee, käyttöomaisuuskustannukset kasvavat ja vaikuttavat siten myös pääomakustannuksiin kohottavasti. Muut kustannukset muuttuvat minimiläpimitan kasvaessa kuten pääomakustannukset, mutta lievemmin, koska niistä ainoastaan 10 % on käyttöomaisuuskustannusten luonteisia. Tuottojen ja kustannusten muutosten yhteisvaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen minimiläpimitan kasvaessa on esitetty kuvassa 36.

Taulukko 12. Sahauksen taloudellinen tulos, sahausmäärä ja vuositulo minimiläpimitan mukaan. Tukkiin tilavuusjakauksen oletettiin olevan vakio läpimitan mukaan ja tuotantoajan vähenevän minimiläpimitan kasvua vastaavan osuuden.

Table 12. Financial result of sawing, sawing volume and annual result as per diameter. The log volume distribution was assumed to remain unchanged as per diameter and the production time to decrease proportionately to an increase in the minimum diameter.

Minimiläpimitä, mm Minimum diameter, mm	Taloudellinen tulos, mk/m <sup>3</sup> Financial result, FIM/m <sup>3</sup>	Taloudellinen tuloero, mk/m <sup>3</sup> Difference in financial result, FIM/m <sup>3</sup>	Sahausmäärä, m <sup>3</sup> Sawing volume, m <sup>3</sup>	Vuositulo, mk Annual result, FIM	Vuosituloero, mk Annual result diff., FIM
100	50,9	0,0	159 296	8 108 166	0
110	51,8	0,9	156 279	8 096 674	-11 492
120	52,7	1,8	153 262	8 079 697	-28 469
130	53,6	2,7	150 245	8 057 234	-50 932
140	54,4	3,5	145 855	7 938 180	-169 986
150	55,2	4,3	140 877	7 772 911	-335 255
160	56,4	5,5	134 023	7 554 778	-553 388
170	57,4	6,5	126 583	7 269 505	-838 661
180	58,0	7,1	119 472	6 929 376	-1 178 790
190	58,5	7,6	110 421	6 464 653	-1 643 513
200	58,2	7,3	102 623	5 971 102	-2 137 064
210	57,4	6,5	94 965	5 446 604	-2 661 562

Kun tuotantoaika säilyy ennallaan, sahausksen taloudellinen tulos kohoaa loivasti minimiläpimitan kasvaessa noin 130 mm:iin saakka. Tämän jälkeen taloudellinen tulos kasvaa jyrkästi ja on minimiläpimitalla 200 mm:in yli kaksinkertainen (63,1 mk/m<sup>3</sup>) lähtöarvoon (31,2 mk/m<sup>3</sup>) verrattuna.

Kun tukin alimman hyväksytyin latvaläpimitan kohoaminen vähentää tuotantoajasta vastaavan osuuden pois, kohoaa sahausksen taloudellinen tulos minimiläpimitaan noin 150 mm saakka, jossa se on 0,7 mk/m<sup>3</sup> lähtöarvoa korkeampi. Tämän jälkeen taloudellinen tulos alenee ensin loivasti ja minimiläpimitasta noin 180 mm lähtien jyrkästi. Minimiläpimitan 210 mm jälkeen sahausksen taloudellinen tulos on jo negatiivinen.

Kun edellä esitettyyn minimiläpimitan mukaiseen sahausksen taloudelliseen tulokseen yhdistetään sitä vastaava sahausmäärä, saadaan sahausksen vuositulo, joka on esitetty taulukossa 11.

Kun tuotantoaika vähenee minimiläpimitan kasvua vastaavan osuuden, sahausmäärä tietenkin myös alenee. Sahausmäärän sekä taloudellisen tuloksen yhteisvaikutuksesta vuositulo aluksi kohoaa minimiläpimitan kasvaessa läpimitan 130 mm saakka, jossa vuositulo on yli 5000 mk lähtöarvoa korkeampi. Syynä tähän on mm. aiemmin (s. 46) todettu pienten tukkiin

negatiivinen taloudellinen tulos. Minimiläpimitan 130 mm jälkeen vuositulo kääntyy jyrkään laskuun ja on minimiläpimitalla 170 mm jo noin 1,2 milj. mk lähtöarvoa alempi. Tappiollisen vuosituloksen rajana on minimiläpimita noin 210 mm.

Kun tuotantoaika säilyy ennallaan, on minimiläpimitan kasvu seurauksena korkeampi sahausteho ja suurempi sahausmäärä. Tällöin myös vuositulo kohoaa huomattavasti minimiläpimitan kasvaessa. Minimiläpimitan asettaminen esim. 160 mm:iin lisää vuositulosta jo lähes 3 milj. mk. Lähes 10 milj. mk suurempi vuositulo saadaan, jos alin hyväksyty tukin latvaläpimita on 200 mm.

Koska edellä olevassa tarkastelussa on mukana tukkiin läpimitaluokittaisen tilavuusjakauksen vaikutus, laskettiin lisäksi minimiläpimitan kasvun vaikutus taloudelliseen tulokseen ja vuositulokseen olettaen tukkiin tilavuusjakauksen olevan vakio läpimitan mukaan ja tuotantoajan alenevan minimiläpimitan kasvua vastaavan osuuden. Tulokset on esitetty taulukossa 12.

Tukkiin tasaisella tilavuusjakauksella tukin keskitilavuus on todellista keskitilavuutta korkeampi. Tukin keskikoon kasvaessa keskimääräinen sahausteho ja sahausmäärä kohoavat. Sahausksen taloudelliseksi tulokseksi saatiin tukkiin tasaisella tilavuusjakauksella 50,9 mk/m<sup>3</sup> ja



Taulukko 13. Tuottoihin ja kustannuksiin vaikuttavien tekijöiden muutoksen merkitys sahausksen vuositulokseen.

Table 13. Significance for the annual result of sawing of changes in the variables influencing revenues and costs.

Muuttuja – Variable	Muutos, % – Change, %					
	3	5	10	20	40	70
	Muutos sahausksen vuosituloksessa, 1000 mk Change in annual sawing result, FIM 1000					
Sahatavaran hinta Sawn goods price	1 374	2 295	4 589	9 179	18 346	32 102
Hakkeen hinta Chips price	280	466	920	1 840	3 669	6 418
Purun hinta Sawdust price	35	58	105	210	408	722
Kuoren hinta Bark price	12	12	35	58	122	221
Sivut. hinta By-products price	314	524	1 048	2 108	4 205	7 362
Tukin hinta Log price	-1 118	-1 864	-3 727	-7 455	-14 915	-26 103
Työvoiman hinta Labour cost	-82	-140	-291	-571	-1 136	-1 992
Sähkön hinta Power price	-12	-12	-23	-47	-105	-175
Korko Interest	-82	-128	-256	-524	-1 042	-1 829
Saanto Yield	326	536	1 083	2 155	4 316	7 548

vuositulokseksi noin 8,1 milj. mk.

Minimiläpimitan kasvaessa sahausksen taloudellinen tulos tukin tilavuutta kohti kohoaa läpimitaan 190 mm saakka (taulukko 12). Tällöin taloudellinen tulos on 7,6 mk/m<sup>3</sup> lähtöarvoa (50,9 mk/m<sup>3</sup>) korkeampi. Minimiläpimitan kasvaessa edelleen 190 mm:stä taloudellinen tulos alenee.

Sahan vuositulo sen sijaan alenee minimiläpimitan kasvaessa, eikä taloudellisen tuloksen kasvu siten riitä kohottamaan vuositulosta edes pienillä minimiläpimitan muutoksilla. Vuositulos on noin 1,2 milj. mk lähtöarvoa alempi minimiläpimitalla 180 mm ja noin 2,1 milj. mk alempi minimiläpimitalla 200 mm. Kun verrataan taulukkoa 12 taulukkoon 11, havaitaan mielenkiintoisimpana erona muutokset vuosituloksessa pienillä minimiläpimitan muutoksilla. Tasaisella tilavuusjakaumalla ei vuositulo kasva minimiläpimitan suuretessa, kuten todettiin tapahtuvan todellisella tilavuusjakaumalla. Syynä lieinee se, että tasaisella tilavuusjakaumalla jo pienimmällä minimiläpimitan kasvulla (10 mm) tuotantoaika vähenee niin paljon, että mm. pääomakustannusten kohoamisen vuoksi vuositulo alenee.

### 5.8.3 Sahatavaran, sivutuotteiden, tukin, työvoiman ja sähkön hinta sekä korko ja saanto

Jo aiemman perusteella tiedetään, että sahatavaran, hakkeen, purun ja kuoren hintojen muutokset vaikuttavat suoraan niitä vastaaviin tuottoihin. Tukin hinta vaikuttaa raaka-ainekustannuksiin sekä varastointikustannusten välityksellä pääomakustannuksiin. Työvoiman hinta vaikuttaa työvoimakustannuksiin ja sähkön hinta energiakustannuksiin. Koron muutos taas vaikuttaa pääomakustannuksiin. Saannon muutos vaikuttaa sahatavara- ja haketuottoihin. Purutuotteiden oletettiin siis säilyvän ennallaan saannon muutuksessa. Koska edellä mainittujen tekijöiden muutokset eivät vaikuta sahausmäärään, tarkastellaan näiden tekijöiden vaikutusta suoraan sahausksen vuositulokseen. Tulokset on esitetty taulukossa 13.

Taulukosta 13 havaitaan, että sahatavaran hinnan muutoksella on suurin vaikutus sahausksen vuositulokseen. Jo sahatavaran hinnan 3 %:n (22,0 mk:n/sahatavaran tilavuus) kasvu lisää vuositulosta noin 1,4 milj. mk. Yli 9 milj. mk

Taulukko 14. Sahaustehon ja seisokkien muutoksen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen, sahausmäärään ja vuositulokseen.

Table 14. Influence of change in sawing efficacy and stoppages on the financial result of sawing, sawing volume and annual result.

Muutos, % Change, %	Sahausteho – Sawing efficacy			Seisokki – Stoppage		
	Taloudellinen tulosero, mk/m <sup>3</sup> Difference in financial result, FIM/m <sup>3</sup>	Sahausmäärä, m <sup>3</sup> Sawing volume, m <sup>3</sup>	Vuositulo-ero, mk Annual result diff., FIM	Taloudellinen tulosero, mk/m <sup>3</sup> Difference in financial result, FIM/m <sup>3</sup>	Sahausmäärä, m <sup>3</sup> Sawing volume, m <sup>3</sup>	Vuositulo-ero, mk Annual result diff., FIM
0	0	116 480	0	0	116 480	0
3	2,0	119 974	348 974	-0,5	115 606	-85 060
5	3,2	122 304	573 082	-0,8	115 024	-137 446
10	6,1	128 128	1 144 998	-1,7	113 568	-283 920
20	11,2	139 776	2 292 326	-3,5	110 656	-569 005
40	19,1	163 072	4 568 346	-7,4	104 832	-1 139 174
70	27,6	198 016	8 009 165	-14,1	96 096	-1 990 934

parempi tulos saavutetaan sahatavaran hinnan 20 %:n (220,6 mk:n/m<sup>3</sup>) nousulla. Toisaalta jos sahatavaran hinta laskee noin 8 % (58,8 mk/m<sup>3</sup>), on vuositulo nolla.

Sivutuotteista hakkeen hinnan 15 %:n (15,6 mk:n/hakkeen irtotilavuus) kasvu parantaa vuositulosta yhtä paljon (noin 1,4 milj. mk) kuin sahatavaran hinnan 3 %:n kasvu. Hakkeen hinnan noin 40 %:n (41,6 mk:n/m<sup>3</sup>) alenemisen jälkeen sahausksen vuositulo muuttuu negatiiviseksi. Purun ja varsinkin kuoren hinnan muutoksen vaikutus vuositulokseen on sahatavaraa ja haketta paljon vähäisempi. Purun hinnan 70 %:n (15,4 mk:n/purun irtotilavuus) kasvu lisää vuositulosta noin 700 000 mk ja kuoren hinnan vastaava kasvu (7,0 mk/kuoren irtotilavuus) ai-noastaan noin 200 000 mk. Jos kaikkien sivutuotteiden hinnat nousevat 10 %, kasvaa sahausksen vuositulo noin 1 milj. mk eli selvästi vähemmän kuin sahatavaran 3 %:n hinnan nousulla.

Raaka-aineen hinnan muutoksen vaikutus vuositulokseen on lähimpänä sahatavaran hinnan muutoksen vaikutusta. Esim. 20 %:n (64,2 mk:n/tukin tilavuus) raaka-aineen hinnan kasvu alentaa vuositulosta peräti noin 7,5 milj. mk ja jo 10 %:n (32,1 mk:n/m<sup>3</sup>) hinnan kasvulla vuositulo on lievästi negatiivinen.

Työvoiman hinnan vaikutus sahausksen vuositulokseen on alle kymmenesosa raaka-aineen hinnan vaikutuksesta. Esim. 20 %:n (11,6 mk:n/yhden työntekijän kokonaistuntikustannukset) työvoiman hinnan kasvu alentaa vuositulosta

noin 570 000 mk. Jos yksi työntekijä vähennetään, työvoimakustannukset alenevat 7,1 % (4,1 mk/h) ja vuositulo kasvaa noin 200 000 mk.

Sähkön hinnan muutoksen vaikutus vuositulokseen on erittäin vähäinen, jopa vähäisempi kuin kuoren hinnan muutoksen vaikutus. Edes 70 %:n (0,19 mk:n/kWh) sähkön hinnan nousu ei alenna vuositulosta kuin 175 000 mk.

Koron nousun vaikutus sen sijaan on lähes työvoiman hinnan vaikutuksen suuruinen. Esim. 20 %:n (2,4 %-yksikön) koron kasvu alentaa vuositulosta noin 500 000 mk.

Saannon paranemisen vaikutus vuositulokseen on sahatavaran ja raaka-aineen hinnan vaikutuksen jälkeen kolmanneksi merkittävin ollen hieman suurempi kuin sivutuotteiden yhteisvaikutus. Esim. 10 %:n (4,5 %-yksikön) saannon kasvu nostaa vuositulosta yli 1 milj. mk.

### 5.8.4 Sahausteho ja seisokki

Aiemman perusteella tiedetään, että sahaustehon kasvu alentaa työvoima-, pääoma- ja energiakustannuksia sekä muita kustannuksia. Seisokkien vähenemisellä on sahaustehon kasvuun vastaava vaikutus. Koska sahaustehon ja seisokkien muuttuessa myös sahausmäärä muuttuu, tarkastellaan sekä sahausksen taloudellista tulosta että vuositulosta. Sahaustehon ja seisokkien muutoksen vaikutus sahausksen taloudelliseen tulokseen ja vuositulokseen on esitetty taulukossa 14.

Taulukosta 14 havaitaan, että sahaustehon kas-

vaessa taloudellisen tuloksen kasvu heikkenee. Koska kuitenkin samanaikaisesti myös sahausmäärä kohoaa, paranee sahauksen vuositulo noin 600 000 mk jokaista sahaustehon 5 %-yksikön lisäystä kohti. Verrattaessa taulukkoa 14 taulukkoon 13 havaitaan, että sahaustehon 20 %:n (8,6 m<sup>3</sup>:n/h) kasvu vastaa suunnilleen sahatavaran hinnan 5 %:n (36,8 mk:n/m<sup>3</sup>) kasvun vaikutusta eli nostaa sahauksen vuositulosta noin 2,3 milj. mk. Yli 4,5 milj. mk parempi vuositulo saataisiin sahaustehon 40 %:n (17,2 m<sup>3</sup>:n/h) kohoamisella. Toisaalta vuositulo olisi negatiivinen hieman yli 30 %:n (12,9 m<sup>3</sup>:n/h) sahaustehon alenemisella.

Seisokkien muutoksen vaikutus sahauksen taloudelliseen tulokseen ja vuositulokseen jää huomattavasti sahaustehon vastaavan muutoksen vaikutusta alemmaksi (taulukko 14). Seisokkien jokaista 5 %-yksikön kasvua kohti vuositulo vähenee noin 140 000 mk. Seisokkien muutoksen vaikutus vastaa lähinnä työvoiman hinnan ja koron muutoksen vaikutusta. Esim. seisokkien lisääntyminen 10 %:lla (1,2 min/h) alentaa sahan vuositulosta noin 300 000 mk. Toisaalta jos seisokit saataisiin kokonaan poistettua, paransi sahauksen taloudellisen tulosta 13,3 mk/m<sup>3</sup> ja vuositulo lähes 2 milj. mk.

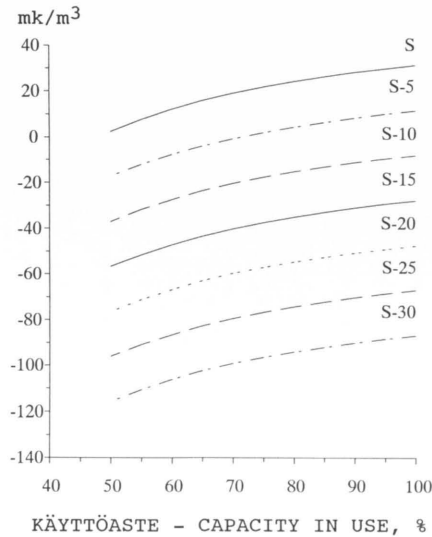
### 5.8.5 Käyttöaste

Sahalaitosta voidaan pitää täystuotannossa yleensä vain korkeasuhdanteiden aikana. Laskusuhdanteessa käyttöaste saattaa laskea jopa alle 50 %:n (esim. Heino 1988). Vuonna 1989, jonka hintatietojen mukaisesti tuotot ja kustannukset laskettiin, vallitsi sahateollisuudessa korkeasuhdanne. Kun seuraavassa tarkastellaan käyttöasteen muutoksen vaikutusta sahauksen taloudelliseen tulokseen ja vuositulokseen, oletetaan käyttöasteen olevan sata aiemmin mainituilla lähtöarvoilla eli kun työntunteja on 3500 ja seisokkien osuus on 20 % kokonaistuotantotajasta.

Käyttöasteen alentuessa oletettiin sahan olevan sitä vastaavan jakson pysähdyksissä. Pysähdysten aikana oletettiin eri kustannuksia muodostuvan vastaavasti kuin minimiläpimitan tarkastelun yhteydessä (s. 52) todettiin. Eli pysähdysten aikana muodostuu käyttöomaisuuskustannuksia ja muista kustannuksista 10 %.

Koska laskusuhdanteessa myös sahatavaran hinta alenee, on mielenkiintoista tarkastella lisäksi käyttöasteen ja sahatavaran hinnan yhteisvaikutusta sahauksen taloudelliseen tulokseen ja vuositulokseen. Kuvassa 37 on esitetty sa-

### TALOUDELLINEN TULOS FINANCIAL RESULT



Kuva 37. Sahauksen taloudellinen tulos (S) käyttöasteen mukaan. Lisäksi on esitetty tulokset, kun sahatavaran hinta on alentunut 5...30 % (S-5...S-30).

Fig. 37. Financial result achieved in sawing (S) as per capacity in use. In addition, the figure shows the results achieved when the prices paid for sawn goods have decreased by 5...30 % (S-5...S-30).

hauksen taloudellinen tulos käyttöasteen mukaan. Tulokset on laskettu lisäksi, kun sahatavaran hinta on alentunut 5...30 %.

Käyttöasteen kohotessa taloudellinen tulos paranee odotetusti (kuva 37). Kaikilla sahatavaran eri hintavaihtoehdoilla sahauksen taloudellinen tulos käyttöasteella 100 % on 28,8 mk/m<sup>3</sup> korkeampi kuin käyttöasteella 50 %. Jokaisella sahatavaran hinnan 5 %-yksikön alenemisella taloudellinen tulos vähenee 19,7 mk/m<sup>3</sup>.

Sahauksen taloudellinen tulos on alkuperäisellä sahatavaran hinnalla vielä käyttöasteella 50 % positiivinen (2,4 mk/m<sup>3</sup>). Kun sahatavaran hinta on alentunut 5 %, on taloudellinen tulos positiivinen käyttöasteen ollessa vähintään noin 75 %. Kun sahatavaran hinta on alentunut 10 % tai enemmän, on taloudellinen tulos negatiivinen kaikilla käyttöasteilla. Yli 100 mk/m<sup>3</sup> taloudellinen tulos on tappiollinen, kun sahatavaran hinta on alentunut 30 % ja käyttöaste on 65 %.

Kun edellä esitettyihin taloudellisiin tuloksiin

Taulukko 15. Sahausmäärä ja sahauksen vuositulo käyttöasteen mukaan sekä ero 100 %:n käyttöasteen vuositulokseen, kun sahatavaran hinta on alentunut 0...30 %.

Table 15. Sawing volume and annual result of sawing as per capacity in use and the difference to the annual result achievable with 100 % of capacity in use and with sawn goods prices down by 0...30 %.

Käyttöaste, % Capacity in use, %	Sahausmäärä, m <sup>3</sup> Sawing volume, m <sup>3</sup>	Vuositulo, 1000 mk Annual result, FIM 1000	Sahatavaran hinta alentunut, % - Sawn goods price down, %						
			0	5	10	15	20	25	30
			Vuosituloero, 1000 mk - Difference in annual result, FIM 1000						
100	116 480	3 634	0	0	0	0	0	0	0
95	110 656	3 286	-348	-233	-118	-3	111	225	340
90	104 832	2 935	-699	-469	-240	-10	219	447	677
85	99 008	2 584	-1 050	-706	-362	-17	327	669	1 013
80	93 184	2 236	-1 398	-939	-480	-21	438	895	1 353
75	87 360	1 887	-1 747	-1 174	-600	-26	547	1 118	1 692
70	81 536	1 541	-2 093	-1 405	-716	-28	660	1 345	2 034
65	75 712	1 189	-2 445	-1 642	-839	-36	767	1 566	2 369
60	69 888	839	-2 796	-1 878	-960	-42	876	1 789	2 707
55	64 064	487	-3 147	-2 115	-1 082	-50	983	2 010	3 043
50	58 240	140	-3 494	-2 347	-1 200	-52	1 095	2 236	3 384

yhdistetään niitä vastaavat sahausmäärät, saadaan vuositulo käyttöasteen ja sahatavaran hinnan mukaan. Taulukossa 15 on esitetty sahausmäärä eri käyttöasteilla ja sen mukainen vuositulo sahatavaran alkuperäisellä hinnalla. Lisäksi on laskettu ero 100 %:n käyttöasteen vuositulokseen kullakin sahatavaran hintavaihtoehdolla erikseen.

Alkuperäisellä sahatavaran hinnalla (vuositulo noin 3,6 milj. mk) käyttöasteen 5 %-yksikön alenemisella vuositulo vähenee noin 350 000 mk. Käyttöasteella 50 % vuositulo on noin 3,5 milj. mk lähtöarvoa alempi eli enää vain lievästi positiivinen. Kun sahatavaran hinta on alentunut 5 %, vuositulo on noin 1,3 milj. mk. Tällöin käyttöasteen alentuessa 5 %-yksikköä vähenee vuositulo noin 230 000 mk. Sahatavaran hinnan 10 %:n alenemisella vuositulo on noin 1 milj. mk negatiivinen. Tällöin käyttöasteen 5

%-yksikön alenemisesta on seurauksena vuosituloksen noin 120 000 mk:n väheneminen. Sahatavaran hinnan alentuessa 15 % (vuositulo noin -3,3 milj. mk) käyttöasteen muutoksen vaikutus on pienimmillään. Käyttöasteen 5 %-yksikön aleneminen vähentää vuositulosta ainoastaan 3 000 mk.

Kun sahatavaran hinta on alentunut 20 %, on vuositulo noin 5,5 milj. mk negatiivinen. Tällöin käyttöasteen alentuessa 5 %-yksikköä paranee vuositulo noin 110 000 mk. Myös kun sahatavaran hinta on alentunut 20 % tai enemmän, on käyttöasteen vähenemisestä seurauksena vuosituloksen paraneminen ja sitä enemmän mitä enemmän sahatavaran hinta on alentunut. On kuitenkin otettava huomioon, että tällöin vuositulo on käyttöasteesta riippumatta negatiivinen eli tällöin käyttöasteen alentaminen pienentää tappiota.

## 6 Tulosten tarkastelu

Koesahausaineistoa, 1606 tukkia, voidaan pitää suurena, kun sitä verrataan johdannossa esitettyjen vastaavien tutkimusten aineistoihin. Aineiston suuruus parantaa sahausta koskevien tulosten luotettavuutta, vaikka tulokset saatiin pääosin läpimittaluokkien keskiarvoina eikä tukkikohtaisesti, minkä vuoksi läpimittaluokkien sisäiset jakaumat jäivät tuntemattomiksi. Raaka-aineen ominaisuudet mitattiin kuitenkin tukkikohtaisesti. Muilta osin tulokset olivat läpimittaluokkien keskiarvoja, koska nykyisillä sa-

hausnopeuksilla esim. saheiden määrittäminen tiettyyn terävälliin ja tukkiin kuuluvaksi ilman että saheita poistetaan prosessista, on lähes mahdotonta. Itse asiassa sitä voidaan noudattaa vain tutkimuslaitosten töissä, sillä vain niillä saattaa olla käytettävissä ko. menetelmässä tarvittavat henkilö- ja muut resurssit. Käytetty tutkimusmenetelmä onkin tutkimuksissa yleisimmän sovellettu tapa. Jos läpimittaluokittaiset aineistot ovat suuria, ei Vuoriston (1936) mukaan tukkikohtaisen menetelmän käyttämisellä ole paljon-

kaan etuja.

Tutkimuksen rajauksen vaikutuksista tuloksiin voidaan todeta seuraavaa. Tutkimus kohdistettiin tiettyyn sahalaitekseen, koska niin monen tekijän, varsinkin kustannuksiin vaikuttavan, todettiin olevan sahalaitekohtaisia. Tällöin myös tulokset ovat hyvin sahalaitekohtaisia. Tulosten yleistämiseen muihin kuin saman konekannan ja kokoluokan sahoihin tulee suhtautua suurella varovaisuudella. Täydellisen varmuus saadaan vasta sitten, kun niiden osalta on suoritettu vastaavat tutkimukset. Yleisluonteisia päätelmiä tulosten saavutavuudesta voidaan kuitenkin tehdä vertailemalla sahakoneiden tehoja, työvoimakustannuksia, investointien suuruuksia yms.

Kun tarkastelun kohteena olevaksi puulajiksi valittiin mänty, on selvää että tulokset sopivat vain mäntytukkien sahaukseen. Kuusen osalta voidaan todeta seuraavaa. Kuusella läpimittaluokkien väliset erot sahauksen tuotoissa ovat mäntyä pienemmät, mutta sahauskustannusten riippuvuus läpimitasta on molemmilla puulaajilla samantapainen (esim. Heiskanen ja Asikainen 1969 a, Usenius ym. 1987). Kaiken kaikkiaan läpimitalla on siis jonkin verran suurempi vaikutus mäntytukkien sahauksen taloudelliseen tulokseen kuin kuusitukien.

Koesahausten ajoittaminen sulan tukin sahaukseen parantaa sahaustehoa verrattuna keskimääräiseen koko vuoden sahaustehoon. Läpimittaluokkien väliseen eroon sillä ei ilmeisesti ole kuitenkaan vaikutusta.

Koska tutkimus on kohdistettu sahaukseen, jolla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan tukkivaraston ja tuoreen sahatarapakettin lähettämisen välistä prosessin osaa, tulevat läpimittaluokkien väliset erot selvästi esiin. Absoluuttiset erot säilyisivät kuitenkin tai kasvaisivat, mutta suhteelliset erot pienenisivät, vaikka tarkasteltaisiin koko prosessia, koska tarkastelun ulkopuolelle jääneissä toiminnoissa läpimitalla ei ole enää niin selvää vaikutusta tuloksiin (esim. Mäntysahatukkien... 1956). Tutkimuksen kohdistaminen sahaukseen korostaa myös jonkin verran raaka-ainekustannusten merkitystä muihin kustannuseriin verrattuna, sillä raaka-ainekustannukset ovat tutkimuksessa mukana täysmääräisinä, mutta muista kustannuseristä jäi tutkimuksen ulkopuolelle yhteensä 13,9 %.

Koska tuotot ja kustannukset laskettiin tietyn ajankohdan hintatason mukaan, sitoo se tulokset tiettyyn hintatilanteeseen. Sahatavaran hinta saattaa vaihdella huomattavastikin lyhyellä aikavälillä. Sen sijaan sivutuotteiden hintojen

muutokset ovat paljon vähäisempiä, jollei hakeen laatuvaatimuksia radikaalisti muuteta. Kustannuksiin vaikuttavat hintatekijät ovat myös sahataravaran hintaa tasaisemmin muuttuvia. Niistä raaka-aineen hinta vaihtelee eniten ja epätaisisemmin.

Laskelmia varten tehtyä olettamusta, että kaikki tuotot ja kustannukset kohdistetaan läpimittaluokille, on helppo kritisoida teoreettiseksi. Kuitenkin jo nykyisin on usealla sahalla pikkutukkilinja ja vähäisessä määrin on havaittavissa erikoistumista tiettyjen läpimittaluokkien sahaukseen. Itälän (1990) tutkimuksen mukaan pienet ja keskiuuret sahat ovat asiakaslähtöisten toimitusten osalta halukkaita lisäämään erikoistumistaan tiettyjen läpimittaluokkien tukkien sahaukseen.

Tulosten mukaan sahauksen taloudellinen tulos lisääntyi selvästi tukin järeytyessä. Absoluuttiseksi eroksi pienimmän läpimittaluokan 133–152 mm ja suurimman läpimittaluokan 307–331 mm välille saatiin 99,1 mk/m<sup>3</sup>. Läpimitan vaikutus sahauksen taloudelliseen tulokseen on lähes yhtä suuri kuin tukin laadun vaikutus, sillä kun Kärkkäisen (1980 a) laatuluokkatuloksista laskettiin ensimmäisen ja kolmannen oksaisuusluokan keskimääräinen ero käsillä olevan tutkimuksen sahataravaran hintojen (liite I) mukaan, saatiin tulokseksi 103,7 mk/m<sup>3</sup>. Eri laatuokkien sahauskustannusten laskettiin olevan yhtä suuri.

Tutkittaessa eri tuottojen ja kustannusten vaikutusta sahauksen taloudelliseen tulokseen todettiin sahataravatuottojen ja raaka-ainekustannusten merkityksen olevan huomattavasti muita suuremman. Ero oli niin huomattava, että jos sahauksen taloudellista tulosta halutaan parantaa merkittävästi, onnistuu se ainoastaan raaka-ainekustannuksia alentamalla tai sahataravatuottoja kohottamalla. Sahataravatuottojen ja raaka-ainekustannusten vaikutus tulokseen oli lähes yhtä suuri.

Kun verrattiin läpimitan, saannon, sahaustehon ja seisokkien vaikutusta sahauksen tuottoihin ja kustannuksiin, todettiin läpimitan ja saannon olevan merkitykseltään suurimman sekä tarkasteltaessa tekijöiden muutoksia suhteellisena osuutena kunkin tekijän keskimääräisestä arvosta että niiden havaitusta vaihteluvälistä. Tosin jälkimmäisessä tapauksessa sahaustehon vaikutus oli lähellä saannon vaikutusta. Seisokkien vaikutus jäi sen sijaan molemmissa tarkastelutavoissa huomattavasti läpimitan, saannon ja sahaustehon vaikutusta vähäisemmäksi. Seisokkien keskimääräinen osuus oli tässä tutkimuk-

sessä 20 % kokonaissahausajasta. Jos seisokkien osuus olisi esim. kaksinkertainen nyt esiintyvään osuuteen verrattuna, kasvaisi myös niiden merkitys noin kaksinkertaiseksi läpimitaan, saantoon ja sahaustehoon verrattuna.

Puustamaksukyyn tarkastelussa todettiin, ettei hintasuositussopimuksessa määritetty järeyden mukainen hintaporrastus vastaa sahan puustamaksukyyn verrattuna liian kalliita ja isot tukit taas liian halpoja. Myös muissa tutkimuksissa (esim. Heiskanen ja Asikainen 1969 a, Usenius ym. 1987) on todettu läpimitan vaikutuksen tukin luokkien väliseen arvoon olevan paljon suurempi kuin hintasuositussopimuksessa esim. vuonna 1989 määritelty 2–14 mk.

Eri sahataravalaatujen puustamaksukyyn tuloksista voidaan tehdä johtopäätös, että sellaisia kolmannen luokan tukkeja, joista saadaan valtaosaltaan sekstasahataravaa, tulisi välttää varsinkin pienissä läpimittaluokissa. Sahauksen tuottojen aletessa tai vastaavasti kustannusten kohotessa tullaan varsin nopeasti tilanteeseen, jossa sekstastukien lisäksi myös pienten kvinttastukien sahaaminen on kannattamatonta.

Lopuksi tarkasteltiin vielä eri tekijöiden vaikutusta sahauksen vuositulokseen, jolloin taloudellisen tuloksen lisäksi tulee mukaan sahausmäärän vaikutus. Tällöin todettiin pienimmän sahaukseen hyväksyttävän läpimitan (minimiläpimitan) nostamisen vaikutuksesta vuositulokseen seuraavaa. Jos tuotantoaika vähenee minimiläpimitan kasvua vastaavan osuuden, paranee vuosituotos enimillään ainoastaan noin 5000 mk, kun minimiläpimita nostetaan nykyisestä 100 mm:stä 130 mm:iin. Jos minimiläpimita nostetaan 130 mm:stä ylöspäin, alenee vuosituotos jyrkästi. Edellä olevasta havaitaan, että nykyaikaisen sahalaitekseen pääomakustannusten ja osittain muiden kustannusten vuosituotosta alentava vaikutus on hyvin suuri, kun tuotantoaika vähennetään. Sen sijaan jos minimiläpimitan nostamisesta huolimatta tuotantoaika pystytään säilyttämään ennallaan, eli muiden läpimittaluokkien tukkeja sahataan vastaavasti enemmän, lisääntyy vuosituotos jo esim.

minimiläpimitan asettamisella 160 mm:ksi peräti noin 3 milj. mk. On kuitenkin otettava huomioon, että pienistä tukeista saadut dimensiot kuten 50 x 100 mm ovat sahataravamarkkinoilla kysytyjä kokoja. Jos kehäsahalaitekseen minimiläpimita nostetaan hyvin ylös, on pikkutukkien sahaamista varten rakennettava oma pikkutukkilinja.

Muista vuositulokseen vaikuttavista tekijöistä todettiin, että esim. edellä mainittu 3 milj. markan lisäys vuositulokseen saavutetaan, kun sahataravaran hinta kohoaa noin 7 % tai tukin hinta alenee noin 8 %. Sahaustehon on kohottava noin 26 %, saannon noin 28 %, sivutuotteiden hintojen noin 29 % tai hakkeen hintaan noin 33 %, jotta vuosituotos paranee 3 milj. mk. Myös käyttöasteen kohoaminen 55 %:sta 100 %:iin lisää vuosituotosta noin 3 milj. mk. Sen sijaan edes työvoiman hinnan, sähkön hinnan, koron tai seisokkien määrän saaminen nolnaan ei paranna vuosituotosta 3 milj. mk.

Käyttöasteen tuloksista voidaan lisäksi tehdä johtopäätös, että nykyaikaisen sahalaitekseen pääomakustannusten ja osittain muiden kustannusten vaikutus vuositulokseen on niin suuri tuotantoajan vähetessä, että vuosituloksen täytyy olla hyvin tappiollinen, esim. käsillä olevassa tutkimuksessa noin 3,5 milj. mk, ennen kuin käyttöasteesta kannattaa alentaa vuosituloksen parantamiseksi.

Yhteenvetona eri tekijöiden vaikutuksesta tukin tilavuutta kohti laskettuun sahauksen taloudelliseen tulokseen ja markkamääräiseen vuositulokseen voidaan todeta, että niitä voidaan kohottaa huomattavasti ainoastaan sahataravaran hinnan ja sen välityksellä sahataravatuottojen kasvattamisella tai tukin hinnan ja siis raaka-ainekustannusten alentamisella. Tietenkin myös muihin tuotto- ja kustannuseriin sekä niiden osatekijöihin on kiinnitettävä jatkuvaa huomiota sahataravaran tuotannossa sekä teknologiaa että taloutta kehittämällä. Yleensä taloudellinen tulos paranee ainoastaan monen tekijän kohentamisen yhteisvaikutuksesta. Niiden keinojen määrittäminen, joilla em. tavoitteet voidaan toteuttaa, ei sisällynyt tutkimuksen tavoitteisiin.

## Kirjallisuus

- Aro, P. & Rikkinen, P. 1966. Havusahatukkien latvamuotoluvut. Summary: Top form factors of softwood saw logs. Communications Instituti Forestalis Fenniae 61(7). 77 s.
- Asikainen, K. 1968. Tasausvara ja sahataravaran tasaus. Summary: On the trimming allowance and trimming. Folia Forestalia 50. 35 s.

- & Heiskanen, V. 1970 a. Havusahatukkien laadun mukaiset arvosuhteet. Summary: The value relationships of coniferous sawlogs on the basis of their grade. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 70(3). 77 s.
- & Heiskanen, V. 1970 b. Sahatukkien mittaus- ja hinnoittelututkimus 1970. V. Tyvitukien ja muiden

- tukkiarvosuhteet. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 20 s.
- Blomqvist, H. & Nylinder, M. 1988. Samband mellan tallstockars geometri, utbyte och kvalitet. Summary: Relation between geometry, yield and quality for sawlogs of pine. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 205: 1–50.
- Halinen, M. 1985. Männyn nuoruusvaiheen kasvunopeuden vaikutus sahatavaran laatuun. Summary: The effect of the growth rate of young pine on the quality of sawn goods. *Silva Fennica* 19 (4): 377–385.
- Heikinheimo, O. (toim.). 1964. Sahateollisuus. Mekaaninen puuteollisuus I. Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys. Kaukas. 828 s.
- Heino, M. 1988. Sahalaitosten kannattavuustarkastelu. Teknillinen korkeakoulu. Puun mekaanisen teknologian laboratorion tiedonanto 47: 1–67. Otaniemi.
- Heinonen, I. 1978. Tuki muodon huomioon ottaminen tukkilajittelussa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto. Otaniemi. 79 s.
- Heiskanen, V. 1954 a. Tutkimuksia mäntytukkipuiden laatuolosuhteista ja niiden tarkkuudesta. Summary: Investigations into pine tree grading methods and their accuracy. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 44(1). 132 s.
- 1954 b. Vuosiluston paksuuden ja sahatukkiin laadun välisestä riippuvuudesta. Summary: On the interdependence of annual ring width and sawlog quality. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 44(5). 28 s.
- 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männikoissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. *Acta Forestalia Fennica* 80(2). 62 s.
- 1966 a. Laskelma mänty- ja kuusisahatukkiin järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. I. 5.8.1966. Suomen Sahanomistajayhdistys. Moniste.
- 1966 b. Laskelma mänty- ja kuusisahatukkiin järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. II. 31.8.1966. Suomen Sahanomistajayhdistys. Moniste.
- 1966 c. Laskelma kuusisahatukkiin järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. 26.8.1966. Suomen Sahanomistajayhdistys. Moniste.
- 1966 d. Laskelma mäntysahatukkiin järeyden mukaisista arvosuhteista ja arvoeroista. 1.9.1966. Suomen Sahanomistajayhdistys. Moniste.
- 1966 e. Raaka-aineen käytön tehokkuus sahatöissä. *Puumies* 12(12): 385–394.
- 1968 a. Havusahatukkiin järeyden mukaiset arvosuhteet. *Puumies* 14(4): 74–76.
- 1968 b. Menetelmä havusahatukkiin järeyden mukaisen arvosuhteiden määrittämiseksi. Paperi ja Puu 50(5): 289–298.
- 1970. Sahatukkiin mittaus- ja hinnoittelututkimus 1970. I. Ennakkotietoja pölykyyttäisten ja upotusmitausten tuloksista. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 81 s.
- 1971. Tyvitukkiin ja muiden tukkien koesahauksia Pohjois-Suomessa. Summary: Test sawings of butt logs and top logs in northern Finland. *Folia Forestalia* 116. 23 s.
- 1976. Havusahatukkeja koskevia arvokalkelmia vuodelta 1974–1975. Summary: Value calculations for softwood sawlogs in 1974–1975. *Folia Forestalia* 251. 64 s.
- 1987. Näkökohtia sahatukkiin laatuolosuhteista. *Sahamies* 5: 136–138.
- & Asikainen, K. 1969 a. Havusahatukkiin järeyden mukaiset arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet. Summary: The value relationships and pricing principles of coniferous sawlogs on the basis of their diameter. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 69(3). 122 s.
- & Asikainen, K. 1969 b. Sahatukkiin ja sahapuurunkojen arvosuhteista. *Puumies* 15(11): 331–336.
- & Rikkinen, P. 1976. Havusahatukkiin kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. *Folia Forestalia* 250. 67 s.
- & Siimes, F. E. 1959. Tutkimus mäntysahatukkiin laatuolosuhteista. Paperi ja Puu 41(8): 359–368.
- Honko, J. 1985. Liiketaloustiede. *Ekonomia-sarja* 3. 12. painos. Weilin+Göös. Espoo. 209 s.
- Hägg, A. 1986. Sägverkens, cellulosa- och pappersindustrins betalningsförmåga för vedförbrukningen. Summary: The capacity of the sawmills and the pulp and paper industry to pay for their raw timber. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära*. Rapport 184: 1–41.
- Häggblom, R. & Pennanen, O. 1983. Tukkiin katkontatavan vaikutus sydäntavaran saantoon. Summary: Influence of sawlog bucking method on yield of centre goods. *Metsätehon tiedotus* 381: 1–14.
- Iivonen, V. 1981. Sahojen energiäkäyttö. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostusosasto. Otaniemi. 155 s.
- , Siimes, H. & Kuusela, J. 1983. Mekaanisen sahatöiteollisuuden energiäkäyttö 1980–1982. *Metsäteollisuuden kirjallisuusselvitys*. VTT, tiedotteita 178: 1–53. Espoo.
- Itälä, M. 1990. Puutuotteiden loppukäyttäjien tarpeiden huomioon ottaminen raakapuun korjuussa ja puutavaran käsittelyssä. Suomen Kulttuurirahaston Mikkelin läänin maakuntarahasto. Turku. 114 s.
- Jonsson, L. & Nylinder, M. 1990. Studie av olika postningar vid sågning av automatiskt kvalitetsorterat talltimmer. Summary: Investigation of different sawing patterns applied on automatically graded saw logs. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära*. Rapport 218: 1–51.
- Juvonen, K. 1955. Sahatukkiin arvosuhteiden laskemisesta. Suomen Puumiehät ry, vuosijulkaisu 1955: 60–63.
- Juvonen, R. & Kotilahi, T. 1985. Sahatukkiin laatuolosuhteiden kehittämistä. Yhteenvetokatsaus. Teknillinen korkeakoulu. Puun mekaanisen teknologian laboratorion tiedonanto 21: 1–19. Otaniemi.
- Koivuniemi, T. 1988. Sahateollisuuden kapasiteetin ja pääomatarpeen välisestä riippuvuudesta. Teknillinen korkeakoulu. Puun mekaanisen teknologian laboratorion tiedonanto 51: 1–19. Otaniemi.
- Koskela, K. 1979. Tukkiin pyörösievistysvaikutukset sahausprosessissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, puun mekaanisen teknologian laboratorion tiedonanto 51: 1–19. Otaniemi. 109 s.
- Kunnas, H. 1981. Suomen sahatöiteollisuus, kehitys vuosina 1965–1981 sekä kehitysnäkymiä 1980-luvulle. Teollistamisrahasto Oy. Helsinki. 90 s.
- Kärkkäinen, M. 1980 a. Mäntytukkiin laatuolosuhteet. Summary: Grading of pine sawlog stems. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 6(5). 152 s.
- 1980 b. Tuloksia Rauman alueen mäntytukkiin sahausesta. Summary: Results of sawing pine logs in Rauma region, western Finland. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 96(7). 43 s.
- 1985. Puutiede. Sallisen Kustannus Oy. Sotkamo. 415 s.
- & Björklund, T. 1983. Suomussalmelaisten mäntytukkiin ominaisuudet eräällä sahalaitoksella. Summary: On the sawing of pine logs from Suomussalmi, northeastern Finland. *Folia Forestalia* 54.3. 16 s.
- & Kallinen, J. 1982. Kemin seudun mäntytukkiin koesahautuloksia. Summary: On the sawing of pine logs from northern Finland, Kemi region. *Folia Forestalia* 52.1. 16 s.
- & Salmi, J. 1981. Länsi-Uudenmaan rannikon mäntytukkiin ominaisuudet eräällä sahalaitoksella. Summary: Properties of pine logs in coastal sawmill in southern Finland. *Folia Forestalia* 45.8. 20 s.
- Laasasenaho, J. & Sevola, Y. 1972. Havutukkiin latvamuotolukujen vaihtelu. Summary: The variation in top form quotients of the coniferous logs. *Folia Forestalia* 164. 20 s.
- Liiri, O. 1955. Tukkiin koneellinen kuorinta. Summary: Log barking by machines. VTT, tiedotus 136: 1–179.
- Maataloustuottajain Keskusliiton metsävaltuuskunnan ja Teollisuuden Puuyhdistyksen tukkiin ja kuitupuiden hintasuositus 1.4.1985–31.3.1986. Maan eteläpuolisko, Länsi-Suomi. Moniste. 9 s.
- Maataloustuottajain Keskusliiton metsävaltuuskunnan ja Teollisuuden Puuyhdistyksen tukkiin ja kuitupuiden hintasuositus 1.4.1987–31.3.1988. Etelä-Suomi. Moniste. 40 s.
- Maataloustuottajain Keskusliiton metsävaltuuskunnan ja Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton tukkiin ja kuitupuiden hintasuositus 1.5.1989–31.3.1990. Etelä-Suomi. Moniste. 40 s.
- Mäntysahatukkiin arvosuhteet ja hinnoitteluperusteet Pohjois-Suomessa. Sahatukkiin hinnoittelukomitean mietintö. 1956. Helsinki. 112 s.
- Nylinder, M. 1990. Automatisk kvalitetsortering av talltimmer. Summary: Automatic grading of pine logs. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära*. Rapport 215: 1–63.
- Nylinder, P. 1972. The capacity of the pulp industry and sawmills to pay for their raw timber. *Skogshögskolan, Institutionen för Virkeslära*. Rapporter 80: 1–24.
- Orvär, M. 1970. Sågutfallets volym och värde hos tall vid olika råvarukvaliteter och varierande postningar. Summary: Lumber yield and value for Scots pine at different log qualities and gang saw set-ups. *Skogshögskolan, Institutionen för Virkeslära*. Rapporter 66: 1–54.
- Ronkanen, A. J. 1950. Tutkimuksia sahatukin pituuden, lenkouden ja kapenemisen vaikutuksesta sydäntavaran pituuteen ja leveyteen. Summary: Investigations into the effect of length, crooked growth, and taper of saw log on the length and width of the most valuable lumber. *Metsätehon Julkaisuja* 23: 1–34.
- Sahojen kannattavuusseuranta. Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto. 1990. Helsinki. Moniste. 6 s.
- Siimes, F. E. 1932. Sahateollisuuden työtehottomuutta II. Sahaus kehäsaahoilla. Summary: Investigation into the efficiency of the sawmill industry II. Efficiency of gang-sawing. Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistys. Julkaisu 6: 1–38.
- SIM-sahaussimulaattorin käyttöopas. Radab International Oy. 1979. Helsinki. Moniste.
- Tarvainen, V. 1985. Sahatukkiin sievistys. VTT, tutkimuksia 334: 1–80. Espoo.
- Teollisuuden vuosikirja osa I. Tilastokeskus. 1991. Helsinki. 261 s.
- Usenius, A. 1980. Sahaussasetteen simulointimalli. VTT, puulaboratorio. Tiedonanto 5: 1–178. Espoo.
- , Halinen, M., Hemmälä, P. & Sommar Dahl, K. O. 1987. Sahapuurunkojen apteerauksen kehittäminen. VTT, puulaboratorio. Tutkimuksia 491: 1–116. Espoo.
- Uusvaara, O. 1972. Sahanhakkeen ominaisuuksia. Keski- ja Pohjois-Suomesta kerättyyn aineistoon perustuva tutkimus. Summary: On the properties of sawmill chips. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 75(4). 55 s.
- 1974. Teollisuudessa käytettävän sahanpurun ominaisuudet. Summary: Properties of sawdust utilised in industry. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 83(1). 43 s.
- 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. Seloste: Virvelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 130. 53 s.
- 1991. Havaintoja nuorten istutusmänniköiden oksikuudesta ja puuaineen laadusta. Summary: Observations about the branchiness and the wood quality of young plantation-grown Scots pine. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 377. 56 s.
- Vanhala, R. 1988. Sahateollisuus, toimialakatsaus 1988. Teollistamisrahasto Oy. Helsinki. 43 s.
- Weslien, H. 1983. Värdeklassificering av sågtimmer med objektivt mätbara faktorer. Del I. Klassificering av talltimmer. Summary: Value grading of saw timber using objectively measurable factors. Part I. Grading of pine timber. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära*. Rapport 140: 1–17.
- Vuoristo, I. 1932. Sahalaitosten työpalkkakustannusten riippuvuus sahatukkiin suuruudesta. Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistys. Julkaisu 9: 1–115.
- 1936. Tutkimuksia sahatukkiin arvosuhteista. I. Tukkiin latvaläpimitan vaikutus sahausituloksen myyntihintaan. Referat: Untersuchungen über die Werthverhältnisse der Sägeblöcke. Einwirkung des Zopfdruckmessers der Sägeblöcke auf die Verkaufspreise des Sägeergebnisses. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 23(3). 152 s.
- Vuositalasto 1990. Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto. 1991. Helsinki. Moniste. 11 s.
- Øy, H. 1974. Verdien of forskjellige kvaliteter og dimensjoner av grantrimmer ved skurlastproduksjon. Summary: The value for different log qualities and dimensions of Norway spruce in sawmilling. *Norsk Institutt Skogforskning* 31(7): 273–325.



## Summary

### Financial result of sawing pine logs as influenced by top diameter and other associated factors

#### Study background and aims

The sawmilling industry is characterised by the existence of a fixed dependency between the properties of the raw material and those of the final product. Wide pieces of sawn goods can be obtained only from large logs. Knot-free sawn goods call for knot-free raw material. Similarly, production costs are dependent on log properties as well as many other factors, especially on top diameter.

Seeing as studies dealing with the sawmilling industry have not so far clarified the diameter dependency of all costs and seeing as the foremost research results originate from studies conducted over fifty years ago in connection with sawmills employing technology that is now quite out-dated, there is certainly a definite need to clarify the relationship between all the associated costs and revenues and top diameter and other factors in the light of current technology and costs levels.

A detailed understanding of the said revenues and costs forms the basis for rational activity. Once these are known, the user can look into the influence of the various factors when increasing revenues and decreasing costs and when laying down theoretical premises for improving the efficacy in the sawmilling industry.

Briefly set out, the aims of this research work are as follows:

1. To study the factors influencing the revenues and costs involved in sawing timber.
2. To determine the revenues and costs in connection with log size (top diameter) and to calculate diameter-related financial results in the production of sawn goods.
3. To study the significance of the various revenues and costs from the point of view of the financial result of sawing timber.
4. To clarify the role of other major factors in the formation of revenues and costs and thereby of the financial result achievable in sawing timber.

Since the first one of the above aims embodies all the external and internal factors connected to sawing timber, the decision was made to impose the following constraints on the present research work. The research was made to focus on one sawmill only, the said sawmill being in the category of medium large sawmills and employing modern frame saw technology. Pine was selected to be the

tree species to be examined since pine quality has been observed to have a greater influence on the price of sawn goods produced than is the case with spruce (e.g. Heiskanen 1976). The test sawings were conducted in September and October in order to avoid the influence of frozen timber on the results obtained. Further, the study focused on the revenues and costs of only the actual sawing process; i.e. those revenues and costs that begin to accrue from the moment that logs are received at the mill gate and culminate at the point when the green sawn goods are packaged and despatched for further processing at the mill gate. During this part of the process the logs and the products obtained from them are treated, in the main, in terms of diameter classes. Later on, individual pieces of sawn goods are treated in terms of their dimensions; consequently, the influence of log top diameter in their case remains obscure.

#### Materials and methods

The treatment of the research problem was carried out on three levels (Fig. 2). The first of these levels included all those factors that influence the revenues and costs involved in sawmilling. The purpose was to select such a group from among these factors as would include all the centrally important factors influencing sawmilling revenues and costs. The factors selected were: log properties (diameter, length, taper, volume, density and quality), sawing pattern (height), yield, dimension and grade distribution of sawn goods, proportions of by-products, sawing speed and efficacy, stoppages, and consumption of electric power. Sawing pattern height is a new concept introduced in connection with this study; it is defined as the sum of the cutting heights of the blades for individual logs or cants (Fig. 4). At first the selected factors were examined individually. Then their inter-relationships were examined by means of regression analysis, for instance.

The second level consisted of all the revenues and costs of sawing timber. The various revenues and costs were first examined individually and then an attempt was made to determine the foremost variables among the first level factors influencing them.

The next step, at level three, was to examine the financial result of sawing timber. The influence of both first and second level factors on the financial result of sawing was examined. Once the influence of these factors had been determined, comparisons were made with respect to the mutual significance of the first level factors and

the second level factors from the point of view of the financial result of sawing timber.

The results are presented mainly with respect to diameter classes. The concluding part of the study presents results that also include diameter-class specific results weighted with volume proportions.

The financial result of sawing timber was calculated by subtracting the total costs of sawing from the total revenues of sawing. The total revenues are composed of sawn goods revenues, chip revenues, sawdust revenues and bark revenues. The total costs are composed of raw material costs, labour costs, capital costs, energy costs and other costs.

The revenues and costs were calculated per log volume o.b. The costs were calculated both per effective (stoppages excluded) and actual (stoppages included) sawing time. The basic point of departure was for all the revenues and costs to be focused individually to the different diameter classes. This was not a problem when dealing with revenues. The same applied to the focusing of labour and energy costs. Raw material and capital costs and other costs were difficult to focus on diameter classes; indeed, one was forced to resort to assumptions and calculatory presentations.

The research results are based on test sawings conducted in 1985 at the Teuva sawmill owned by Botnia Wood Oy. A total of 1606 logs representing eight diameter classes were sawn using conventional sawing patterns (Table 3). The logs were measured for their diameter, length, taper, volume and density, and appraised for quality. Further measurements covered diameter-class specific sawn goods amounts and grades, sawing time, amount and duration of stoppages, and power consumption. Use was also made of a sawing simulator for computing the amounts of by-products and for examining the influence of sawing patterns other than those used in the test sawing on yield and sawing result.

Prices influencing revenues and costs (inc. price of sawn goods, by-products, raw material, labour, energy) were calculated using the average prices paid in 1989; these were obtained from the sawmill's statistics and bookkeeping.

#### Results

According to the results, the financial result of sawing timber increased significantly as the log diameter increased. The absolute price difference between the smallest diameter class of 133–152 mm and the biggest diameter class of 307–331 mm was FIM 99.1 per log volume o.b. (Fig. 31). Sawing revenues accounted for FIM 66.0 /m<sup>3</sup> of this difference (Fig. 21) while sawing costs accounted for FIM 33.1 /m<sup>3</sup> (Fig. 29). Of the sawing revenues studied, when comparing the total revenues of the biggest diameter class to those of the smallest, it was

the revenues from sawn goods (FIM 83.3 /m<sup>3</sup>) that had the biggest augmenting influence. The corresponding difference in connection with bark revenues was FIM 1.9 /m<sup>3</sup>. Revenues from chips and sawdust had the opposite influence. The smallest diameter-class specific chip revenues amounted to FIM 15.9/m<sup>3</sup> while those of sawdust revenues were FIM 3.3 /m<sup>3</sup> higher than those of the biggest diameter class revenues. The absolute difference between the total costs (FIM 33.1 /m<sup>3</sup>) was influenced most of all by capital costs with the capital costs in the smallest diameter class being FIM 18.2 /m<sup>3</sup> higher than those in the biggest diameter class. The corresponding difference with respect to labour costs was FIM 16.1 /m<sup>3</sup> while that of other costs was FIM 8.4 /m<sup>3</sup>. Energy costs increased the total costs in the smallest diameter class by only FIM 1.3 /m<sup>3</sup> when compared to the biggest diameter class. The influence of diameter on total costs was weakened by the rise in raw material costs as the diameter increased. The raw material costs in the smallest diameter class were FIM 11.0 /m<sup>3</sup> higher than those in the biggest diameter class.

When examining the influence of the various revenues and costs on the financial result of sawing timber (Table 10), it was noted that the significance of revenues from sawn goods and the cost of raw material was considerably greater than that of others. The difference was so considerable that, for the financial result of sawing timber to be markedly improved upon, it would be possible only through reduced raw material costs or by increasing revenues from sawn goods. These two factors were almost of equal significance.

When comparing the influence of diameter, yield, sawing efficacy and that of stoppages on the revenues and costs of sawing timber (Figs. 32 and 33), it was noticed that diameter and yield had the greatest influence both in terms of changes in the factors' relative proportions from a particular factor's mean value and the range of deviation in this. It should, however, be pointed out that in the latter case the influence of sawing efficacy was close to that of the yield. In both of these approaches, the influence of stoppages, on the other hand, was considerably less than that diameter, yield and sawing efficacy.

When examining the influence of capacity to pay for timber (Fig. 34), it was noted that the diameter-based price arrangement set down in price recommendations does not correspond to the sawmill's capacity to pay for timber. Small logs were priced too high while large logs were underpriced. Other studies dealing with this subject (e.g. Heiskanen & Asikainen 1969 a, Usenius et al. 1987) have also led to results according to which the influence of diameter on inter-class value differences far exceeds that set down in price recommendations, which in 1989 varied between FIM 2–14.

The results obtained concerning the sawmill's capaci-

ty to pay for timber with respect to the various sawn goods grades (Fig. 35) would appear to indicate that logs falling into the third quality class (and resulting mainly in sixths) should be avoided; this is especially so in the small diameter classes. With falling revenues from sawing (or correspondingly with rising costs) sawmilling enterprises are soon confronted by a situation where not only sixth class logs but fifth class logs as well are unprofitable to saw.

Finally, an appraisal was made of the influence of the various factors on the annual result of sawing timber; this brought in the additional aspect of volume sawn. In this connection, the following observation was made concerning the effect on the annual result of raising the minimum top diameter for log to be accepted for sawing (Fig. 36 and Table 11). If production time is reduced by an amount proportional to the increase in minimum diameter, the annual result will increase by no more than c. FIM 5000 when the minimum diameter is raised from the current 100 mm to 130 mm. If the minimum diameter is raised above 130 mm, then the annual result will undergo a steep fall. In other words, the negative influence that capital costs of a modern sawmill (and partly other costs as well) have on the annual result is a quite a large one when production time is reduced. On the other hand, if one can keep the production time unchanged despite a rise in the minimum diameter (i.e. by sawing more logs from the other diameter), then the annual result will increase; e.g. if the minimum diameter is raised to 160 mm, the increase is as much as c. FIM 3 million.

With regard to the other factors influencing the annual result, it was noted (Tables 13 and 14), that the above annual result increase of FIM 3 million, for instance, can be achieved if the price of sawn goods rises c. 7 percent or if log prices fall c. 8 percent. Sawing efficacy

must rise by c. 26 percent, yield must rise by c. 28 percent, the prices paid for by-products by c. 29 percent or that of chips by c. 33 percent for the annual result to increase by FIM 3 million. Further, if the capacity in use were to rise from 55 percent to 100 percent, it would also mean an increase of c. FIM 3 million in the annual result (Table 15). On the other hand, zero values for the costs of labour, electric power, interest or stoppages would not lead to such a rise in the annual result.

In addition, the results obtained for the capacity in use further indicate that the influence on the annual result of the capital costs in a modern sawmill (and partly also the influence of other costs) is so great when the production time decreases that the annual result must be extremely negative (e.g. c. FIM 3.5 million in the case presented in this study) before one should reduce the capacity in use in order to bring about an improvement in the annual result.

In conclusion concerning the influence of the various factors on the log volume based financial result of sawing timber and the annual result expressed in terms of Finnish markkas, it can be stated that they can be improved upon considerably only by increasing the price of sawn goods and thereby increasing the revenues obtained from sawn goods or by reducing the price of the log raw material. In addition to these measures, one must, of course, pay constant attention to the other revenue and cost types and the associated partial factors in connection with the production of sawn goods and by developing sawing technology and the economy of the sawmill. The overall financial result can be improved upon only through the interaction of improvements in several other factors. The defining of measures by which the above aims might be achieved was not included in the aims of this research work.

## Liitteet

### Liite I – Appendix I

#### Sahatavaran laatujaakaumat ja hinnat

#### Sawn goods grade distribution and prices

##### Sydäntavaran laatujaakaumat, %

##### Centre goods grade distributions, %

Laatu Grade	Paksuus, mm Thickness, mm	Leveys, mm – Width, mm						
		100	115	125	150	175	200	225
u/s	32	25	25	25	25	25	20	20
u/s	38	25	25	25	25	25	20	20
	44	25	25	25	25	25	20	20
	50	25	25	25	25	25	20	20
	63	25	25	25	25	25	20	20
	75	25	25	25	25	25	20	20
V	32	45	45	45	45	45	45	45
V	38	45	45	45	45	45	45	45
	44	45	45	45	45	45	45	45
	50	45	45	45	45	45	45	45
	63	45	45	45	45	45	45	45
	75	45	45	45	45	45	45	45
VI	32	30	30	30	30	30	35	35
VI	38	30	30	30	30	30	35	35
	44	30	30	30	30	30	35	35
	50	30	30	30	30	30	35	35
	63	30	30	30	30	30	35	35
	75	30	30	30	30	30	35	35

##### Sivulautojen laatujaakaumat, %

##### Side boards grade distributions, %

Laatu Grade	Paksuus, mm Thickness, mm	Leveys, mm – Width, mm						
		100	115	125	150	175	200	225
u/s	19	25	–	20	15	15	10	10
u/s	25	20	20	20	20	20	15	15
V	19	45	–	50	55	55	50	50
V	25	45	45	50	50	50	50	50
VI	19	30	–	30	30	30	40	40
VI	25	35	35	30	30	30	35	35
pl/vl	19	91	–	–	–	–	–	–
sb/eg	25	92	–	–	–	–	–	–
pl/kl	19	9	–	–	–	–	–	–
sb/dg	25	8	–	–	–	–	–	–

Sydäntavaran hinnat, mk/m<sup>3</sup>  
Centre goods prices, FIM/m<sup>3</sup>

Laatu Grade	Paksuus, mm Thickness, mm	Leveys, mm – Width, mm						
		100	115	125	150	175	200	225
u/s	32	1190	1190	1190	1190	1190	1226	1263
u/s	38	1190	1190	1190	1190	1190	1226	1263
	44	1127	1127	1127	1127	1127	1162	1199
	50	1127	1127	1127	1127	1127	1162	1199
	63	1127	1127	1127	1127	1127	1162	1199
	75	1127	1127	1127	1127	1127	1162	1199
V	32	894	894	894	894	894	894	894
V	38	894	894	894	894	894	894	894
	44	878	878	878	878	878	878	878
	50	878	878	878	878	878	878	878
	63	878	878	878	878	878	878	878
	75	878	878	878	878	878	878	878
VI	32	775	775	775	775	775	775	775
VI	38	775	775	775	775	775	775	775
	44	775	775	775	775	775	775	775
	50	775	775	775	775	775	775	775
	63	775	775	775	775	775	775	775
	75	775	775	775	775	775	775	775

Sivulautojen hinnat, mk/m<sup>3</sup>  
Side boards prices, FIM/m<sup>3</sup>

Laatu Grade	Paksuus, mm Thickness, mm	Leveys, mm – Width, mm						
		100	115	125	150	175	200	225
u/s	19	1629	1629	1629	1629	1629	1659	1706
u/s	25	1537	1537	1537	1537	1537	1565	1610
V	19	906	906	906	906	906	906	906
V	25	1025	1025	1025	1025	1025	1025	1025
VI	19	714	714	714	714	714	714	714
VI	25	732	732	732	732	732	732	732
pl/vl	19	593	–	–	–	–	–	–
sb/eg	25	558	–	–	–	–	–	–
pl/kl	19	546	–	–	–	–	–	–
sb/dg	25	508	–	–	–	–	–	–

Liite II – Appendix II

Simuloinnin lähtöarvot  
Initial values used in simulation

Sahausmitat, mm  
Sawing dimensions, mm

	Nimellismitta, mm Nominal dimension, mm	Tuoremitta, mm Green dimension, mm	
		Sahaus Sawing	Särmäys Edging
Paksuus, mm Thickness, mm	19	20,40	–
	25	26,50	–
	32	33,60	–
	38	39,80	–
	44	46,00	–
	50	52,10	–
	63	65,10	–
	75	77,70	–
Leveys, mm Width, mm	100	103,30	104,20
	115	118,60	119,60
	125	128,90	130,00
	150	154,50	155,80
	175	180,10	181,60
	200	205,70	207,40
	225	231,30	233,20

### Liite III – Appendix III

Tutkimuksessa käytetty mäntytukkien laatuluokitus  
Grading classification applied in study to pine logs

Vika – Defect	Tukin latva- läpimitta, cm Top diameter of log, cm	Laatuluokka – Quality class		
		I	II	III
Oksan suurin läpimitta, mm Maximum knot diameter, mm				
<b>A. Suurin oksa</b> A. Largest knot				
1. Terve oksa 1. Live knot	–19 21–27 29–	15 25 30	30 35 45	50 65 70
2. Kuiva oksa 2. Dead knot	–19 21–27 29–	10 15 25	25 30 35	40 50 65
3. Laho oksa 3. Rotten knot	–19 21–27 29–	Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed	25 30 35
4. Poikaoksa 4. Vertical knot	–19 21–27 29–	Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed Ei sallita Not allowed	40 45 55
<b>B. Muut oksat</b> B. Other knots				
5. Maksimioksa pienempien oksien lukumäärä 5. No. of knots smaller than maximum knot size		Hajallaan 1...2 Scattered	Hajallaan 3...5 Scattered	Sallitaan Allowed
6. Oksakyhmyt 6. Knot bump		Ei sallita Not allowed	Pieniä sallitaan Small ones allowed	Erittäin suuria ei sallita Very large are not allowed
<b>C. Muut viat</b> C. Other defects				
7. Lenkous koko pituudella, cm 7. Sweep at the whole length, cm	–19 21–	2 3	4 6	4 6
8. Mutka ja monivääryys 8. Sharp crook and multidimensional crook		Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed
9. Tyvikoron suurin pituus, dm (sallitaan latvalierion ulkopuolella) 9. Longest butt scar (allowed outside top section), dm		3–6	6–9	Rajoituksetta No limit
10. Keskikoron suurin pituus, dm (latvalierion ulkopuolella) 10. Longest middlelength scar outside top section, dm		Ei sallita Not allowed	3	3–9

Vika – Defect	Tukin latva- läpimitta, cm Top diameter of log, cm	Laatuluokka – Quality class		
		I	II	III
Oksan suurin läpimitta, mm Maximum knot diameter, mm				
11. Tervaroso ympärysmittasta 11. Peridermium canker of circumference		Ei sallita Not allowed	1/4	1/2
12. Suurin kierteisyys 12. Maximum spiral grain		1:14	1:10	1:7
13. Laho 13. Decay		Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed
14. Suurin suora sydänhalkeama läpimitasta 14. Maximum straight heart shake of top diameter		Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed	1:2
15. Tiivis vesisilo 15. Unracked wet heart		Ei sallita Not allowed	Pieniä läikkiä sallitaan Small flakes are allowed	Sallitaan Allowed
16. Rengashalkeama ja halkeillut vesisilo 16. Ring shake and cracked wet heart		Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed
17. Lyly 17. Compression wood		Ei sallita Not allowed	Sallitaan hieman Allowed a little	Sallitaan Allowed
18. Sinistymä 18. Blue stain		Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed	Ei sallita Not allowed

### Liite IV - Appendix IV

#### Konekanta ja -sijoitus

Ensimmäisenä vaiheena sahatavaran valmistuksessa on tukkien lajittelu noin 10 vuotta vanhassa tukkien lajitte-laitoksessa. Tukit lajitellaan kuoripäällisinä seuraaviin luokkain: 100–132 mm, 133–152 mm, 153–165 mm, 166–179 mm, 180–190 mm, 191–203 mm, 204–216 mm, 217–229 mm, 230–242 mm, 243–255 mm, 256–268 mm, 269–280 mm, 281–293 mm, 294–306 mm, 307–331 mm ja 332– mm.

Sahalle ostetut tukit nostetaan lajitte-lulaitoksen sisään-työtöydälle, josta ne yksitellen siirryvät ketju-kuljettimelle. Ketjukuljetin vie tukit automaattisesti toi-mivalle Elmes 8080 -tukkimittarille. Tukin liikuessa tukkimittarin läpi mittaavat lasersäteet tukin läpimittoja kolmelta eri suunnalta. Tukin pituus mitataan valoken-noon avulla perustuen ketjukuljetin nopeuteen.

Mittaustulokset siirryvät tukkimittariin liitetyn tieto-koneen käsiteltäviksi. Tietokone tulostaa tukkien lajitte-lijan ohjauspulpetin näyttöruutuun jokaisesta tukista mi-nimiläpimitan ja pituuden. Läpimitattiedon perusteella tukkien lajitte-lija painaa ohjauspöydästä asianomaisen tukkilokeron painiketta sekä näköhavaintonsa perusteel-la puulaji (mänty, kuusi) painiketta.

Jos tukissa esiintyy suurta lenkoutta, mutkia tai muita vastaavia vikoja, lajitte-lija ohjaa tukin asianomaista lä-pimittaluokkaa pienempään luokkaan. Kummallakaan puulajilla ei suoriteta varsinaista laatu-lajittelua. Jos tu-

kissa kuitenkin on runsaasti vikoja eikä se täytä kolman-nen laatu-luokan minimivaatimuksia, se ohjataan sellu-tukkilokeroon.

Tukkimittarin jälkeen tukit siirryvät lajitte-lukuljetti-melle. Tukkien lajitte-lijan painamien painikkeiden aikaansaaman sähkösytyksen perusteella tukit putoavat automaattisesti oikean lokeron kohdalla alas. Lajittelu suoritetaan maahan siten, että männyt ja kuuset lajitte-laan eri puolille lajitte-lukuljetinta. Kuljetin molem-milla puolilla on 16 lokeroa.

Tukkimittarin tietokone laskee tukin läpimittojen ja pituuden perusteella tukin tilavuuden ja kapenemisen. Tietokone rekisteröi muistiinsa jokaisesta tukista mini-miläpimitan, pituuden, kapenemisen, tilavuuden ja puu-lajin. Edellä olevat tiedot voidaan tulostaa kirjoittimelle joko jokaisesta tukista erikseen tai yhteenvetoraporttina tietyistä ajanjaksosta.

Tukkien lajitte-lulaitos sijaitsee noin 300 m päässä sahalaitoksesta. Tämän vuoksi lajitellut tukit on siirret-tävä metsätraktorilla sahalaitoksen sisään-työtöydän läheisyyteen. Sahalaitoksen pohjakuva on esitetty tämän liitteen lopussa.

Lajitellut tukit nostetaan sahausohjelman mukaisesti etukuormaajalla sahan päädyssä sijaitsevalle sisään-työtöydälle. Sisään-työtöydän poikittaiskiramoiden jäl-keen ketjukuljetin vie tukit Tähkä Oy:n suunnittelemaan automaattisesti toimivaan tukkien kääntäjalaitteeseen. Latva eteenpäin käännettyinä ketjukuljetin siirtää tukit automaattisesti toimivaan tyvisievistäjään. Tukit pysäh-



tyvät, laskeutuvat V-taskuun, jossa kiinnipitovarret pyörittävät tukkia. Tukiin pyöriessä 30-teräinen ja 900 mm pitkä jyrsinkutteri jyrsii tukin tyvi-laajentuman pois. Jyrshintä seuraava tukin luonnollista kartiokkuutta ja on halkaisijasta riippumaton. Tyvisievistäjänä on Bruksin RR 700, jonka kapasiteetti on neljä tukkia minuutissa ja maksimi sievistys 200 mm tukin vaippapinnasta lasketuna. Tyvisievistäintä käytetään tukeille läpimittaluokasta 204–216 mm ylöspäin.

Tyvisievistäjältä tukit siirtyvät ketjukuljettimella kuorimakoneeseen. Kuorimakoneena on Cambio 70–66 AA, jonka syöttönopeus on 20–40 m/min. Kuorimakoneen sisäänasyöttöpuolella olevat kolme pyöriävä syöttövalsia keskittävät tukin roottorin keskistöä kohti ja syöttävät koneeseen. Rottorin mukana pyöriivät kuorimaterät (5 kpl) leikkaavat kuoren irti tukin kulkiessa roottorin läpi. Kuorimakoneen ulossyöttöpuolella on sisäänasyöttöpuolen kanssa samanlaiset kuljetusvalssit, jotka siirtävät kuoriturun tukin ulos koneesta.

Kuorimakoneen jälkeen tukit kulkevat metallinilmäsimen läpi. Metallinilmäsimenä on Elok MD 500. Metallia sisältävät tukit ohjautuvat omaan, sahan ulkopuolella sijaitsevaan lokeroon. Metallittomat tukit taas siirtyvät pelkkäkähän syöttöpöydälle.

Sahan alkupää toimii täysin automaattisesti ja sitä valvoo tv-kameroiden avulla pelkkäkähän sahuri.

Ohjaus- ja valvontayhtäisä toimiva pelkkäkähän sahuri siirtää tukit pelkkäkähän syöttöpöydältä yksitellen kehäsahan kauko-ohjattavaan syöttövaunuun. Syöttölaite on Kockumsin valmistama malli 113 B. Se koostuu ohjauspöydästä ja kaksiosaisesta syöttövaunusta. Ohjauspöydästä käsin sahuri pystyy pyörittämään tukki-vaunussa olevaa tukkia ja siirtämään sitä sivusuunnassa. Sahuri keskittää tukin ottaen huomioon sen viat, mm. lenkouden. Keskityksessä hänellä on apuna ylhäältä tukin pintaan tuleva punainen lasersäde, joka ilmaisee sahauslinjan keskikohtaan. Kun sahuri on löytänyt tukin oikean asennon ja sijainnin, hän syöttää sen pelkkäkähän. Laitteen suurin syöttönopeus 80 m/min.

Ennen pelkkäkähää on asennettu Konepaja M. Virtanen Ky:n latvankeskittäjä, joka keskittää tukin latvan tarkasti kehäsahan keskiliinjan.

Pelkkäkähänä on Kockumsin malli Record 210–22 B, jonka iskunpituus on 600 mm ja syöttönopeutena voidaan käyttää 5–60 mm/isku. Koska pelkkäkähän iskumäärä minuutissa on 360, saadaan mahdolliseksi syöttönopeudeksi 1,8–21,6 m/min. Pelkkäkähällä sahataan tavallisesti pelkka ja yksi tai kaksi lautaa tukin molemmilta sivuilta.

Heti pelkkäkähän jälkeen on SPJ-palvelun suunnittelema automaattinen pinnanerotuskuljetin. Siinä jakoveitset erottavat pelkan lauta-aihiosta ja pinnoista. Pinnanerotusveitset taas erottavat lauta-aihiot ja pinnat erilleen. Pinnat putoavat sahalaituksen alakerrassa olevalle tärykuljettimelle. Lautojen aihiot jatkavat eteenpäin jakokähän ohi särmättäviksi. Pelkka pysähtyy jakokähän syöt-

töpöydän pelkanpysäyttäjään ja siirtyy väliasemalle.

Jakokähän syöttölaiteena on täysautomaattinen Konepaja M. Virtanen Ky:n valmistama MV-pelkansiiro- ja syöttölaite. Väliasemalla pelkan keskittäjän vaunupari siirtää pelkan sahauslinjalta ja keskittää sen saksien (4 kpl) avulla. Sakset aukeavat ja vaunupari lähtee noutamaan uuden pelkan. Samanaikaisesti saksien auettaua pelkka laskeutuu syöttölaitteen rullalle, pelkanpainaja puristaa kiinni ja pelkka siirtyy käyräsahauslaitteelle. Käyräsahauslaite keskittää pelkan jakosahaan ja ohjaa pelkkaa sen lenkoutta seuraten. Pelkat kulkevat jakokähän läpi, samoin kuin tukit pelkkäkähän läpi, "pää-päässä" kiinni.

Jakokähän sahurin pääasiallinen tehtävä on pelkkäkähän taustan ja jakokähän moitteettoman toiminnan valvominen. Poikkeustilanteita varten on sahurin läheisyydessä ohjauspulpetti, jossa on jakokähän ja sen syöttölaiteen toimintojen käsinajomahdollisuus.

Jakokähänä on Kockumsin malli Maximus 260-B, jonka iskunpituus on 700 mm ja syöttönopeutena voidaan käyttää 0–70 mm/isku. Koska jakokähän iskumäärä minuutissa on 360, saadaan mahdolliseksi syöttönopeudeksi 0–25,2 m/min. Suurin sahattavaksi mahdollinen pelkanleveys on 510 mm.

Jakokähän jälkeen on Kockumsin pinnanerotuskuljetin, joka on muuten samanlainen kuin pelkkäkähän jäljessä oleva vastaava kuljetin, mutta pinnanerotusveitsten tilalla on pinnanerotuslautaset.

Jakokähältä sydäntavara jatkaa suoraan tasauspöydälle. Lautojen aihiot taas siirtyvät särmäkursorin syöttöpöydälle, jonne tulevat myös pelkkäkähältä lautojen aihiot. Syöttöpöydältä lauta-aihiot siirtyvät poikittaiskuljettimelle. Poikittaiskuljetinta ohjaa ja valvoo ohjauspulpetista särmääjä. Poikittaiskuljettimella aihiot käännetään siten, että vajaampi puoli on ylöspäin ja ne syötetään yksitellen särmäkursorin syöttölaiteeseen.

Syöttölaite on automaattisesti toimiva Kockumsin Autopos, jonka kapasiteetti on 20–35 lautaa/min ja suurin mahdollinen syöttönopeus 200 m/min. Autopos mitataan lauta-aihion lasersäteillä, jotka peilien avulla heijastetaan samansuuntaisina syöttölaiteeseen. Lasersäteet valaisevat lauta-aihiota nopeilla pyyhkäisyillä ja sivuilla olevat tunnistimet ilmoittavat tietokoneelle, kuinka suuri osa lähetetyistä säteistä kohtaa lauta-aihiot. Mittausyksiköitä on kolme, joten lauta-aihiot voidaan mitata koko pituudelta siirtämättä sitä eteenpäin.

Särmääjä ilmoittaa tietokoneelle ohjauspulpetista lauta-aihiot paksumuutoksen sekä halutessaan hän voi ennakolta määrätä laudan laadun (vajaa- tai täyssärmäinen). Tietokone laskee saamiensa tietojen perusteella lauta-aihiolle laatu-, pituus- ja leveysyhdistelmän, jonka arvo on korkein. Haluttaessa voidaan eri leveysien särmäämistä painottaa suhdeluviilla.

Valitsemansa leveyden tietokone ilmoittaa Servoposin aseteohjausautomaatiikkaan. Servopos ohjaa särmäkursorin terät oikeaan leveyteen sekä muuttaa asetteen keskiliinjan tietokoneen antamien ohjeiden mukaan. Kun

särmäkursorin asete on oikea ja oikeassa paikassa, Autopos syöttää lauta-aihiot särmäkursoriin.

Särmäkursori on automaattisesti toimiva Kockumsin malli 519, johon suurin mahdollinen syöttönopeus on 200 m/min. Särmäkursorin asetteen keskiliinjan voidaan siirtää sivusuunnassa. Särmäkursorissa on välittömästi pintarimat irti leikkaavien terien jäljessä kursorit, jotka hakevat pintarimaa.

Autoposin tietokoneeseen on liitetty raportointijärjestelmä, joka tulostaa särmättyjen saheiden jakaumat puujaitteita ja dimensioitain sekä saheiden lukumäärät, pituudet ja tilavuudet. Raportit saadaan joko pika- tai vuororaporttina.

Särmäkursorilta tuleva särmätty sahatavara sekä jakokähältä tuleva sydäntavara johdetaan taskukiramolle, joka annostelee saheet yksitellen tasauspöydän poikittaiskuljetimen kolaväleihin.

Koska kappaleen tyvipäässä on poistettavia vikoja harvemmin, suoritetaan tyvipään tasaus ensin. Tyvitasaaja vetää sahetta lyhennyksen verran ulos poikittaiskuljetimelta ja sirkkeli katkaisee tämän osan pois. Tavallisesti riittää pelkka puhdistustasaus.

Rullaston avulla sahe siirtyy poikittaiskuljetimen toiseen lähtöön, jossa suoritetaan latvasaus. Saheen latvapäässä saattaa varsinkin laudoilla olla mm. vajasärmäisyttä niin paljon, että siitä joudutaan katkaisemaan pitkiäkin paloja pois. Latvan tasajaan on suoritettava valinta pituuden ja laadun välillä. Päätöksensä mukaisesti hän vetää sahetta ulos poikittaiskuljetimelta. Tämän jälkeen tasauspöydällä olevien rullaston ja vasteiden avulla sahe siirtyy lähinnä seuraavaan 30 cm:n jaon mukaiseen pituuteen ja sirkkeli katkaisee palan pois. Sahalaituksen lyhin hyväksytyt saheen pituus on 1,8 m ja suurin mahdollinen pituus 5,7 m.

Tasauspöydän jälkeen seuraa Teoplan Oy:n suunnittelema 16-lokeroinen dimensiolajittelija, johon automaatiikan on toimittanut Digitaali Elektroniikka Ky. Dimensiolajittelija toimii muuten automaattisesti, mutta laadun arvostelun suorittaa latvan tasaja, joka ohjauspöydästä painaa tasauksensa valitsemansa laadun mukaista painiketta. Laatuvalitsohdot ovat täyssärmäinen ja vajasärmäinen sahatavara. Lisäksi oksattomat laudat sekä hylkytvara voidaan ohjata omaan lokeroon.

Laadutuksen kautta saheet siirtyvät poikittaiskuljetimelle mittaukseen. Paksumuutetaan mekaanisella laitteella ja leveys valjojuoavaan perusteen. Dimensiotieto ja laatu tieto yhdistämällä saadaan lajitieto, jonka perusteella mikroprosessori etsii saheelle oikean lokeron.

Mittauksen jälkeen saheet siirtyvät ns. koukkukuljetimelle, joka liikkuu lokeroiden yläpuolella. Kun sahe saapuu sille varatun lokeron yläpuolelle, antaa automaatiikka pudotusmagneetille ohjauskäskyn, jolloin sahe putoaa lokeroon.

Kun lokerot ovat täyttyneet, tyhjenetään ne lokero kerrallaan niiden alapuolella olevalle poikittaiskuljetimelle. Poikittaiskuljetimella saheet siirretään Tähti Oy:n

valmistamaan paketointilaitokseen. Paketointilaitokseen saheet erotetaan toisistaan kahdella peräkkäisellä kiramalla. Kiramon taskusta saheet nousevat kolien avulla poikittaiselle rullaradalle ja sieltä edelleen annostelulaitteen kautta kokoojapöydän kolaväleihin. Kokoojapöydältä nostovarret siirtävät yhteen sahatavarapakettin kerrokseen tarvittavan määrän saheita laskuhissille. Joka kerroksen jälkeen hissi laskeutuu automaattisesti alas-päin kerroksen korkeuden verran, jonka jälkeen nostovarret siirtävät uuden kerroksen jne., kunnes sahatavarapaketti on valmis.

Paketointilaitos toimii muuten automaattisesti, mutta rimapaketteja tehtäessä välirimat on asetettava käsin. Paketointilaitoksessa voidaan tehdä joko trukkipaketteja tai tasapäisiä 6 m pitkiä kuivauspaketteja. Paketointilaitoksen laskuhissiltä sahatavarapaketit siirretään kuljettimella ulos Virtasen Konepaja Oy:n valmistamalle kastelualtaalle.

Sahatarapaketti laskeutuu automaattisesti kastelualtaaseen, jossa on sinistymistä ja homeutumista estävää Kemtoks S10-liuosta. Sahatarapaketti nousee ylös ja jatkaa kuljettimella välivarastoon, josta se siirretään trukilla jatkokoihuun. Kastelualtasta käytetään toukokuusta syyskuuhun.

Paketointilaitoksen ja kastelualtaan toimintaa ohjaa ja valvoo ohjauspulpetista kaksi henkilöä, jotka tarvittaessa myös asettavat rimapaketteihin välirimat.

Valmiit sahatavarapaketit vieään 35 km:n päässä sijaitsevaan Kaskisten jatkokäsittelylaitokseen, jossa saheet mm. kuivataan, laatulajitellaan, tasataan, leimataan ja pakataan.

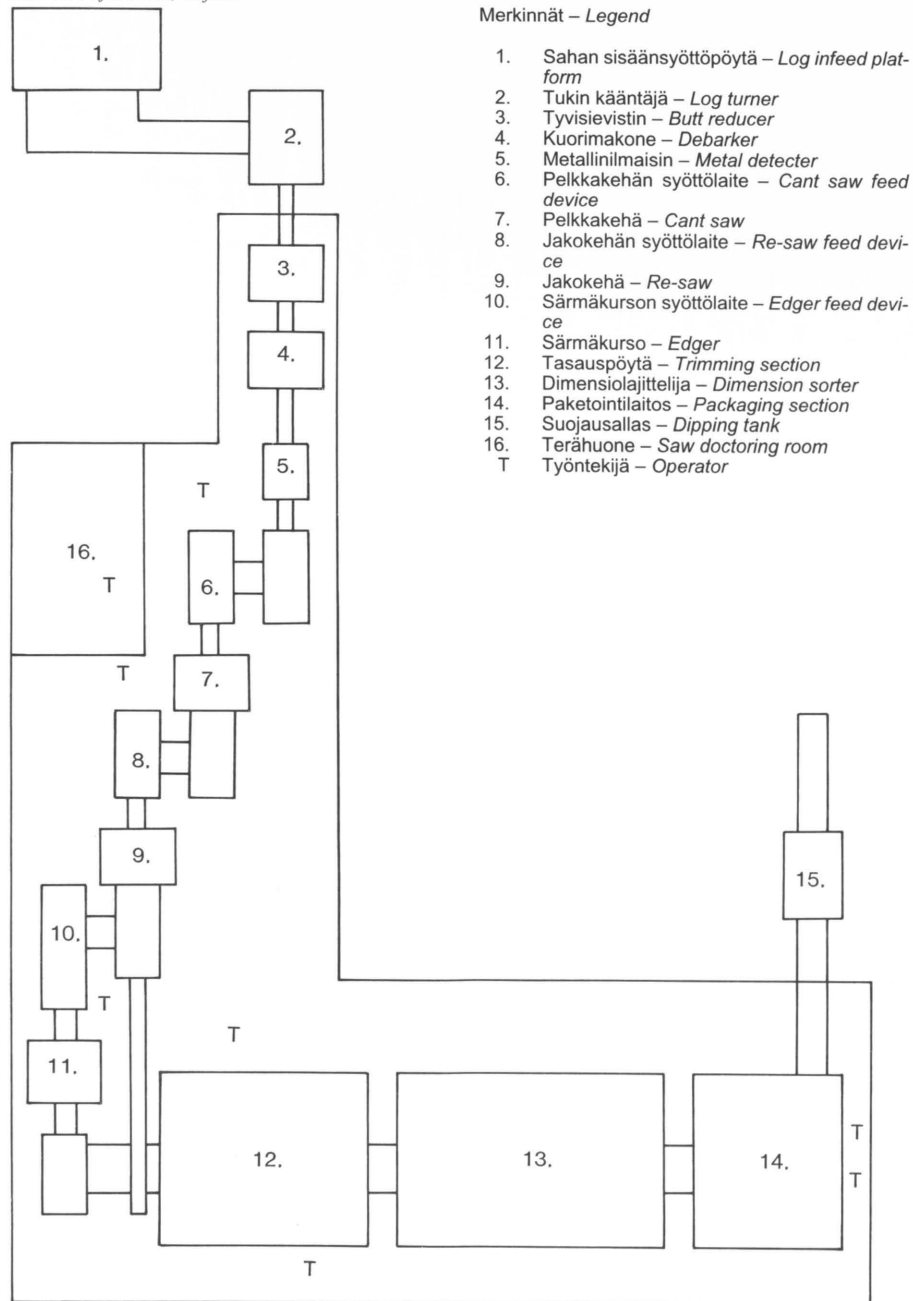
Sahalaituksen alakerrassa sijaitsee Hammars Oy:n valmistama 20 m pitkä tärykuljetin. Tärykuljetimelle johdetaan liukupintoja pitkin kehäsahoilta puru ja pinnat sekä särmäkursorilta puru ja hake. Tasaamosta tulevat hihnakuljettimella puru ja tasauspätkät tärykuljetimelle. Kaukaloimuotoisen tärykuljetimen vibraatioliike vie jäännöspaloja kuljettimella eteenpäin kohti hakkuria. Koska tärykuljetin pystyy kuljettamaan kaikki sahan jäännöspalat, selvittää yhdellä kuljettimella yleisesti tarvittavan kahden sijasta.

Hakkurina on Kockumsin malli 670–56 CC, vaaka-syöttöinen hakkuri, johon mahdollinen syöttönopeus on 100 m/min. Jäännöspalat syötetään tärykuljetimelta hakkurin alaosaan ja laite puhalttaa valmiin hakkeen ja mukana olevan purun yläosaan sykloniin. Sykloniin tehtävänä on purkaa hake sekä puru tasaisesti ja kevyesti seulalle.

Kockumsin 750–150 seulalla hake seulotaan erottaen siitä selluteollisuudetta kovakaatimusten mukaisesti 6–32 mm:n pituinen jae erilleen. Puruksi menee 6 mm pienempi jae, kun taas 32 mm suuremmat osat johdetaan uudelleen hakuriin. Valmis hake ja puru siirretään seulalta omilla kokukuljetimillaan ulkona sijaitseviin varastoihin. Sahalaituksen alakerran toiminta ohjaa ja valvoo yksi henkilö.

## Liite IV, kuva 1

Sahan pohjakuva, yläkerta  
Plan view of sawmill, 1. floor

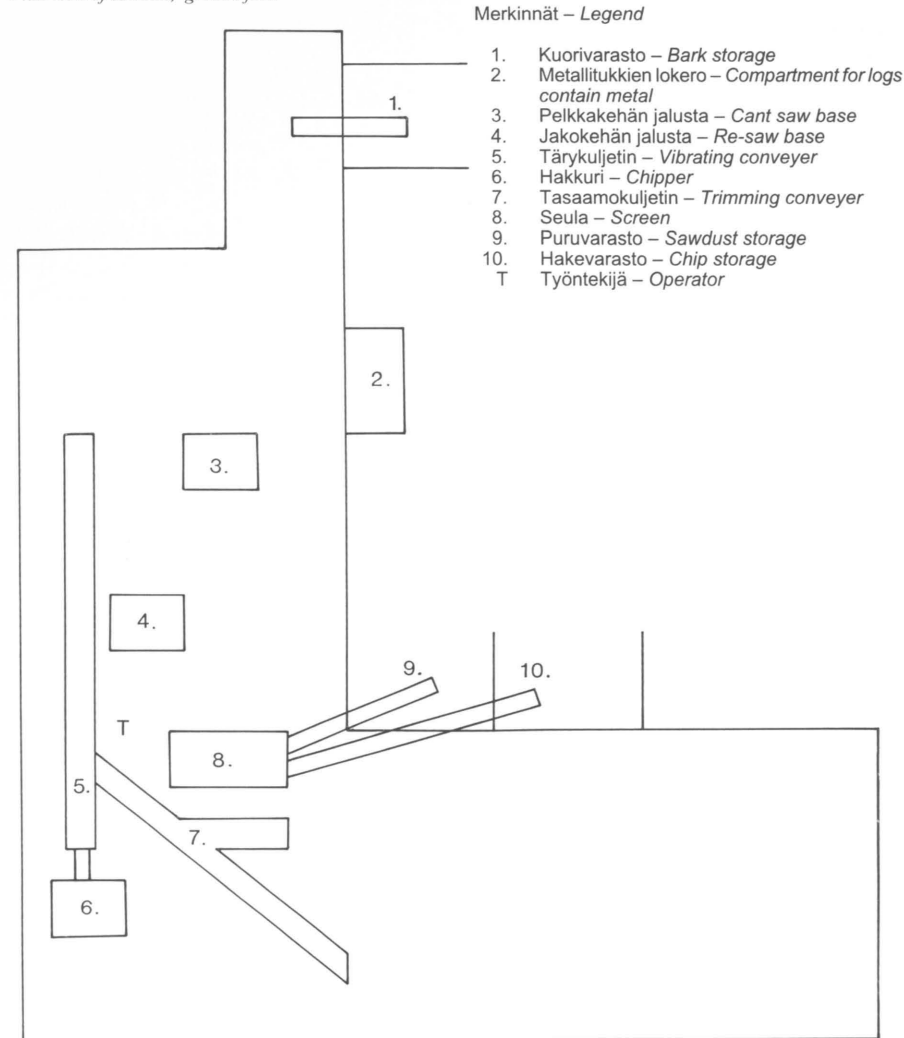


### Merkinnyt – Legend

1. Sahan sisäänsyöttöpöytä – Log infeed platform
2. Tukin kääntäjä – Log turner
3. Tyvisievistin – Butt reducer
4. Kuorimakone – Debarker
5. Metallinilmaisin – Metal detector
6. Pelkkakehän syöttölaite – Cant saw feed device
7. Pelkkakehä – Cant saw
8. Jakokehän syöttölaite – Re-saw feed device
9. Jakokehä – Re-saw
10. Särmäkurson syöttölaite – Edger feed device
11. Särmäkurso – Edger
12. Tasauspöytä – Trimming section
13. Dimensiolajittelija – Dimension sorter
14. Paketointilaitos – Packaging section
15. Suojausallas – Dipping tank
16. Terähuone – Saw doctoring room
- T Työntekijä – Operator

## Liite IV, kuva 2

Sahan pohjakuva, alakerta  
Plan view of sawmill, ground floor



### Merkinnyt – Legend

1. Kuorivarasto – Bark dust storage
2. Metallitukkien lokero – Compartment for logs contain metal
3. Pelkkakehän jalusta – Cant saw base
4. Jakokehän jalusta – Re-saw base
5. Tärykuljetin – Vibrating conveyer
6. Hakkuri – Chipper
7. Tasaamokuljetin – Trimming conveyer
8. Seula – Screen
9. Puruvarasto – Sawdust storage
10. Hakevarasto – Chip storage
- T Työntekijä – Operator

## Liite V – Appendix V

Läpimittaluokittaiset pelkka- ja jakokehän asetteen, joilla saatiin korkeimmat saannot  
*Diameter-class specific cant and re-saw sawing patterns resulting in highest yields*

Läpimittaluokka, mm <i>Diameter class, mm</i>	Pelkkakehän asete, mm <i>Cant saw sawing pattern, mm</i>	Jakokehän asete, mm <i>Re-saw sawing pattern, mm</i>
133–152	19–100–19	19–19–44–44–19–19
153–165	25–100–25	19–50–50–19
180–190	19–19–115–19–19	19–63–63–19
204–216	19–19–150–19–19	19–19–63–63–19–19
230–242	19–19–150–19–19	19–19–75–75–19–19
256–268	19–19–200–19–19	19–25–75–75–25–19
281–293	19–19–25–175–25–19–19	19–19–63–63–63–19–19
307–331	19–19–19–225–19–19–19	19–19–25–63–63–63–25–19–19

Läpimittaluokittaiset pelkka- ja jakokehän asetteen, joilla saatiin korkeimmat sahaustuotot  
*Diameter-class specific cant and re-saw sawing patterns resulting in highest sawing revenues*

Läpimittaluokka, mm <i>Diameter class, mm</i>	Pelkkakehän asete, mm <i>Cant saw sawing pattern, mm</i>	Jakokehän asete, mm <i>Re-saw sawing pattern, mm</i>
133–152	19–100–19	19–19–44–44–19–19
153–165	19–115–19	19–50–50–19
180–190	19–19–115–19–19	19–63–63–19
204–216	19–19–115–19–19	19–75–75–19
230–242	19–19–175–19–19	19–25–63–63–25–19
256–268	19–25–175–25–19	19–25–75–75–25–19
281–293	19–19–25–175–25–19–19	19–25–63–63–63–25–19
307–331	19–19–25–225–25–19–19	19–25–25–63–63–63–25–25–19

## Instructions to authors — Ohjeita kirjoittajille

### Submission of manuscripts

Manuscripts should be sent to the editors of the Society of Forestry as three full, completely finished copies, including copies of all figures and tables. Original material should not be sent at this stage.

The editor-in-chief will forward the manuscript to referees for examination. The author must take into account any revision suggested by the referees or the editorial board. Revision should be made within a year from the return of the manuscript. If the author finds the suggested changes unacceptable, he can inform the editor-in-chief of his differing opinion, so that the matter may be reconsidered if necessary.

Decision whether to publish the manuscript will be made by the editorial board within three months after the editors have received the revised manuscript.

Following final acceptance, no fundamental changes may be made to manuscript without the permission of the editor-in-chief. Major changes will necessitate a new submission for acceptance.

The author is responsible for the scientific content and linguistic standard of the manuscript. The author may not have the manuscript published elsewhere without the permission of the publishers of Acta Forestalia Fennica. The series accepts only manuscripts that have not earlier been published.

The author should forward the final manuscript and original figures to the editors within two months from acceptance. The text is best submitted on a floppy disc, together with a printout. The covering letter must clearly state that the manuscript is the final version, ready for printing.

### Form and style

For matters of form and style, authors are referred to the full instructions available from the editors.

### Käsikirjoitusten hyväksyminen

Metsäntutkimuslaitoksesta lähtöisin olevien käsikirjoitusten hyväksymismenettelystä on ohjeet Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuohjesäännössä.

Muista käsikirjoituksista lähetetään Suomen Metsätieteellisen Seuran toimitukselle kolme täydellistä, viimeisteltyä kopiota, joihin sisältyvät myös kopiot kaikista kuvista ja taulukoista. Originaaliaineistoa ei tässä vaiheessa lähetetä.

Vastaava toimittaja lähettää käsikirjoituksen valitsemilleen ennakkotarkastajille. Tekijän on otettava huomioon ennakkotarkastajien ja toimituskunnan korjausesitykset. Korjaukset on tehtävä vuoden kuluessa siitä, kun käsikirjoitus on palautettu tekijälle. Jos tekijä ei voi hyväksyä korjausesityksiä, hänen on ilmoitettava eriyvä mielipiteensä vastaavalle toimittajalle tai toimituskunnalle, joka tarvittaessa ottaa asian uudelleen käsitteilyyn.

Acta Forestalia Fennican toimituskunta päättää kirjoituksen julkaisemisesta ennakkotarkastajien lausuntojen ja muiden ilmenneiden seikkojen perusteella. Päätös tehdään kolmen kuukauden kuluessa siitä, kun käsikirjoituksen lopullinen korjattu versio on saapunut toimitukselle.

Hyväksymisen jälkeen käsikirjoitukseen ei saa tehdä olennaisia muutoksia ilman vastaavan toimittajan lupaa. Suuret muutokset edellyttävät uutta hyväksymistä.

Tekijä vastaa kirjoituksen tieteellisestä asiasällöstä ja kieliasusta. Tekijä ei saa julkaista kirjoitusta muualla ilman Acta Forestalia Fennican julkaisijoiden suostumusta. Acta Forestalia Fennicaan hyväksytään vain aiemmin julkaisemattomia kirjoituksia.

Tekijän tulee antaa lopullinen käsikirjoitus ja kuvaoriginaalit toimitukselle kahden kuukauden kuluessa hyväksymispäätöksestä. Käsikirjoituksen saatteesta pitää selvästi ilmetä, että käsikirjoitus on lopullinen, painoon tarkoitettu kappale. Teksti otetaan mieluiten vastaan mikrotietokoneen levykkeellä, jonka lisäksi tarvitaan paperituloste.

### Käsikirjoitusten ulkoasu

Käsikirjoituksen asun tulee noudattaa sarjan kirjoitusohjeita, joita saa toimituksesta.





- 220 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari.** Suomen metsävarat 1977–1984 ja niiden kehittyminen 1952–1980. Summary: Forest resources of Finland in 1977–1984 and their development in 1952–1980.
- 221 Pohjonen, Veli.** Selection of species and clones for biomass willow forestry in Finland. Tiivistelmä: Biomassan viljelyyn sopivien pajulajien ja -kloonien valinta Suomessa.
- 222 Häme, Tuomas.** Spectral interpretation of changes in forest using satellite scanner images. Seloste: Metsän muutosten spektrinen tulkinta satelliittikuvien avulla.
- 223 Finér, Leena.** Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Seloste: Lannoituksen vaikutus männyn kuivamassan kertymään ja ravinteiden kiertoon ombrotrofisella rämeellä.
- 224 Heikkilä, Risto.** Moose browsing in a Scots pine plantation mixed with deciduous tree species. Tiivistelmä: Hirven ravinnonkäyttö lehtipuusekoitteisessa mäntytaimikossa.
- 225 Kubin, Eero & Kemppainen, Lauri.** Effect of clear-cutting of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions. Tiivistelmä: Avohakkuun vaikutus kuusimetsän lämpöoloihin.
- 1992**
- 226 Hakala, Herman.** Mäntytukkien sahausken järeyden mukainen taloudellinen tulos ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Summary: Financial result of sawing pine logs as influenced by top diameter and other associated factors.